

PatvAc

PSE-380000-2008-3

Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras

E2.20 – Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



C 2030
onstrucción
I+D+i

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCION | 3 |
| 2. DESCRIPCION MUROS | 4 |
| 3. TIPOS DE ENSAYO. METODOLOGÍA EMPLEADA | 6 |
| 3.1. ENSAYOS APLICADOS | 6 |
| 3.1.1. Gato plano | 6 |
| 3.1.2. Georadar | 8 |
| 3.1.3. Termografia | 9 |
| 3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA | 9 |
| 3.2.1. Pruebas pre-testing | 9 |
| 3.2.2. Ensayos de corte y cosido | 12 |
| 4. ANALISIS DE RESULTADOS | 16 |
| 4.1. PRUEBAS REALIZADAS EN LA SELECCIÓN DE ACELERÓMETROS | 16 |
| 4.1.1. Medida de control de interferencias | 16 |
| 4.1.2. Cortes transversales al eje de la probeta | 16 |
| 4.1.3. Cortes longitudinales al eje de la probeta | 17 |
| 4.1.4. Martillo de pólvora | 19 |
| 4.1.5. Sierra de disco | 21 |
| 4.1.6. Taladro percutor | 24 |
| 4.2. Muros de Ladrillo Hueco | 27 |
| 4.3. Muros de Ladrillo Macizo | 41 |
| 4.3.1. Perfiles obtenidos | 44 |
| 5. CONCLUSIONES | 51 |

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

1. INTRODUCCIÓN

Hasta el momento todas las soluciones arquitectónicas propuestas para la adecuación del Patrimonio están realizadas desde la suposición de que el bien tiene capacidad suficiente de admisión de las nuevas y previas solicitudes y, además, sus propiedades mecánicas no se ven alteradas por deterioros o modificaciones en la composición debidos a factores geoquímicos, p.e.

Por otra parte, cada vez existe un mayor interés en realizar intervenciones más adecuadas al medio en que se realizan, en el sentido de inducir una menor agresividad, alcanzar una mayor durabilidad y minimizar el coste de mantenimiento. Por tanto, aunando estas dos ideas, se decidió investigar el comportamiento estructural y la adaptabilidad de la estructura al sistema y a las piezas que se fueran a instalar a unos elementos tipo, típicos de Patrimonio, como son los muros de carga. La descripción de cada muro se encuentra en apartados posteriores.

Las características mecánicas se pueden ver alteradas por un incremento excesivo de calor, una presión que sobrepase el límite elástico, etc. Por esta y otras razones - que ya se especificarán más adelante - se pretende investigar el efecto de dos sistemas de corte muy utilizados en este tipo de intervenciones como son el corte con hilo de diamante y el corte con sierra de disco.

Otra intervención típica en obras de restauración es el cosido de elementos. Esta operación se suele ejecutar utilizando varillas roscadas de acero embebidos en distintos mortero de cal aditivados con distintos tipos de resina. Sin embargo, la utilización de estas varillas puede ser contraproducente a largo plazo ya que se pueden generar puntos duros dentro de la estructura e inducir la creación de fisuras. Por este motivo, también se quiere estudiar el efecto de dos sistemas de cosido diferentes. Uno aplicando el sistema ya mencionado de las varillas roscadas de acero y otro utilizando varillas de fibra de vidrio, más acorde en sus módulos de elasticidad a los materiales empleados en este tipo de elementos. Los resultados obtenidos hasta la fecha se encuentran analizados y comentados más adelante.

La organización del presente documento se encuentra dividido en seis capítulos. En el primero de ellos se hará una breve introducción del trabajo realizado. En el segundo capítulo se describirán los muros ejecutados, en el tercero se describirán los tipos de ensayo aplicados y la metodología empleada, en el cuarto se presentan los resultados obtenidos y, finalmente, en el quinto se comentarán las conclusiones.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

2. DESCRIPCION MUROS

Las construcciones de Patrimonio antiguo son las más susceptibles de verse modificadas. Estas edificaciones están compuestas principalmente por mampostería, ladrillo, piedra, tapial o adobe. Se han ejecutado seis muros a escala real en las instalaciones de GEOCISA para evitar efectos de escala. Dos de ladrillo hueco, uno de ladrillo macizo, uno de tapial, uno de sillería y otro de mampostería (Figura 2.1).



Figura 2.1. Vistas de los muros a ensayar preparados para su transporte.

Todos ellos engarzados con mortero de cal aérea aditivado con cemento para acelerar su fraguado. Sus dimensiones son 2 x 1 x 0.5 m excepto para el muro de sillería cuyo espesor es de 0.35 m. (Figura 2.2)

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Para facilitar su transporte estos muros se han apoyado en una placa de acero de 4 mm de espesor, que a su vez se ha apoyado en 4 perfiles IPN-140, y a su vez en tres perfiles IPN-160. Y en altura se han arriostrado con cuatro angulares L.100 y redondos de 12 mm. Como muestra la Figura 2.2

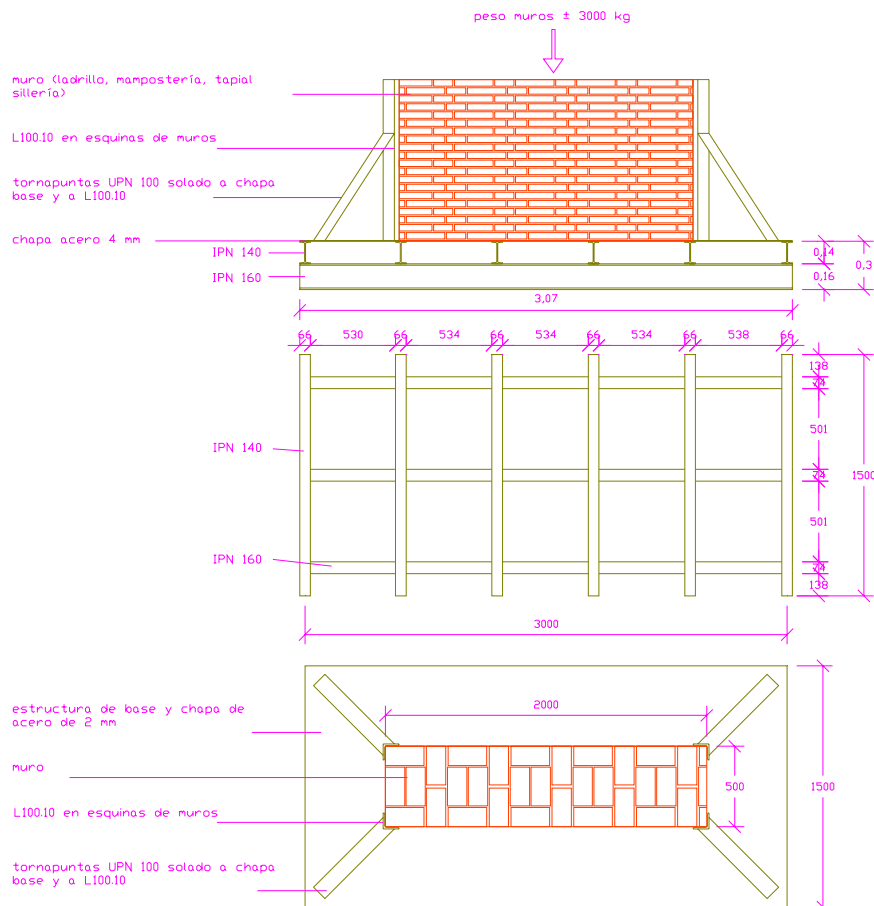


Figura 2.2. Planos de ejecución de muros.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

3. TIPOS DE ENSAYO. METODOLOGÍA EMPLEADA

En otros entregables ya se han mencionado y comentado los diferentes tipos de ensayos existentes para determinar las propiedades físicas, mecánicas o químicas de las estructuras a intervenir. El conocimiento de estas propiedades son las que conducirán al técnico a tomar las decisiones adecuadas. Por tanto, no se trata de hacer un análisis en profundidad sino de verificar la utilidad de algunas de estas técnicas en la elección de soluciones de accesibilidad los muros.

3.1. Ensayos aplicados.

Las instituciones involucradas en operaciones de restauración y, en particular, en cuestiones de accesibilidad deben ser particularmente cuidadosas al elegir una solución que ofrezca la mayor información posible con el menor perjuicio estético y estructural. Por otro lado, el diagnóstico estructural de un edificio requiere diferentes tipos de herramientas que proporcionen a los técnicos una información fiable y completa sobre el estado de conservación del Bien.

3.1.1. Ensayo de gato plano.

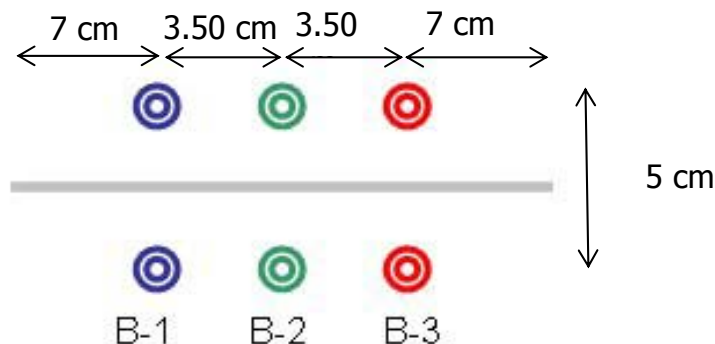
En el mercado existen diferentes tipos de técnicas no-destructivas ó semi-destructivas con sus correspondientes tipos de instrumentación. Una de las técnicas más comunes en las obras de restauración es el ensayo del gato plano. Éste permite estimar el estado tensional en un punto. En el presente estudio se ha empleado la técnica del gato plano. El procedimiento de ensayo está basado en la normativa existente ASTM C 1197 y "RILEM, Recommendation MDT. D.4: In-situ stress tests based on the flat jack", adaptando las especificaciones de la normativa según la experiencia de GEOCISA en el análisis estructural.

Las fases en las que consiste el ensayo son las siguientes:

- 1.- Colocación de bases de extensometría.
- 2.- Medida inicial de distancia entre bases.
- 3.- Realización del corte.
- 4.- Medida de deformación liberada.
- 5.- Introducción del gato plano en el corte.
- 6.- Incremento gradual de la presión en el gato y control de la deformación restituida.

Una vez seleccionadas las zonas más apropiadas para la ejecución del ensayo, se posicionaron los puntos de control del ensayo, formados por parejas de bases de extensometría, según la distribución del croquis adjunto.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



Posteriormente se procedió a realizar un corte normal entre los puntos de control. Como consecuencia de esta discontinuidad estos puntos experimentaron un movimiento de acercamiento, disminuyendo la distancia (D_c) entre los mismos respecto a la situación inicial, $D_0 > D_c$; a la diferencia entre ambas se la denomina deformación liberada causada por la liberación de tensiones en la zona de corte.

Para restituir la situación tensional del elemento, se introdujo el gato plano en el corte realizado, aumentando gradualmente la presión en el mismo hasta alcanzar de nuevo la distancia inicial D_0 .

La tensión de trabajo del elemento se determina en base a la presión obtenida en el gato plano, necesaria para restablecer la deformación ocasionada en el corte, corregida según constantes que dependen de las propiedades del gato y de la geometría del corte.

Además, se pueden representar los resultados del ensayo de gato plano en un gráfico tensión deformación del tipo del de la Figura 3.1, en el que el corte con el eje de ordenadas corresponde a la deformación liberada tras el corte y el cruce con el eje de abscisas representa la tensión restituida, obtenida a partir del valor de la presión correspondiente afectado por la constante de calibración del gato y el coeficiente de geometría.

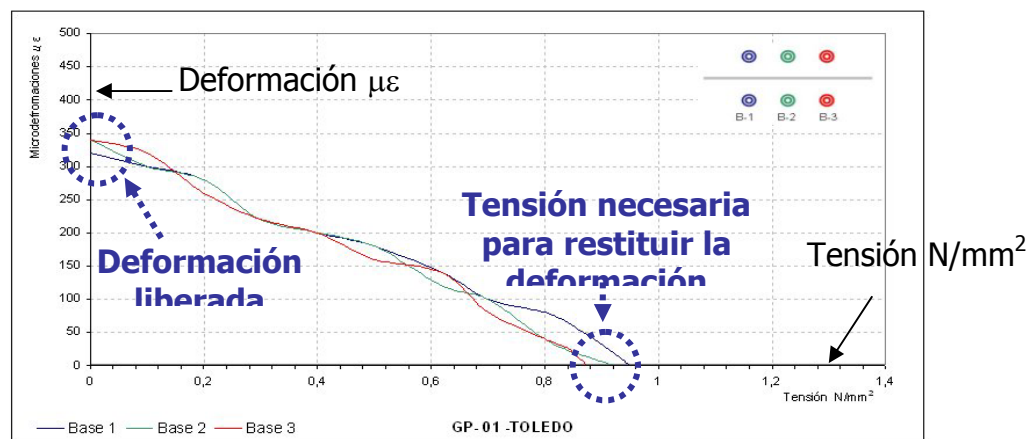


Figura 3.1. Ejemplo de representación de resultados de ensayo de gato plano

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

3.1.2. Ensayo Georradar

Un georradar está basado en una antena emisora que irradia cortos pulsos de energía electromagnética de alta frecuencia. Estas ondas electromagnéticas se propagan a una velocidad directamente relacionada con la permeabilidad dieléctrica de los materiales que atraviesa. Cuando esta onda directa encuentra en su trayectoria la separación entre dos materiales con distintas características dieléctricas (por ejemplo terreno y agua), una parte de la energía es reflejada hacia la superficie, en donde es detectada por una antena receptora y transmitida a una unidad de control para su visualización y procesado.

La profundidad alcanzable mediante esta técnica es función de la frecuencia de la antena utilizada y de la conductividad eléctrica del material por el que se propaga. En general, la utilización de antenas de frecuencias inferiores proporciona una mayor penetración que las de frecuencias superiores, pero lleva aparejada una peor resolución espacial o apreciación.

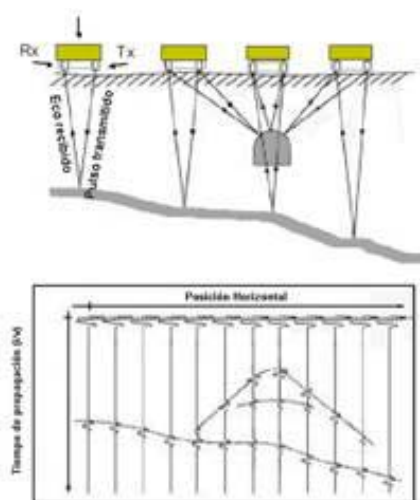


Figura 3.1.2 Fundamento del georradar.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

3.1.3. Termografía

Esta técnica se basa en la detección de la radiación infrarroja en el espectro electromagnético, esto es, entre los 900 y los 14000 nanómetros. Dado que la radiación infrarroja la emite cualquier cuerpo en función de su temperatura, aplicando la ley de la radiación de los cuerpos negros, la termografía permite obtener información tanto si en el ambiente de trabajo existe o no luz visible. La cantidad de radiación emitida por un cuerpo aumenta con el incremento de temperatura, por este motivo, las cámaras termográficas permiten obtener variaciones en temperatura y además, objetos más calientes se observan mejor frente a fondos fríos. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

Los utilidades tradicionales se han asociado a fines militares y de seguridad, sin embargo sus aplicaciones se ha extendido a otros campos, como puedan ser el mantenimiento de instalaciones, p.e. localización de sobrecalentamiento de líneas de alimentación. Bomberos para ver en el humo, localizar focos de mayor temperatura, etc. Edificación en la detección de falta de aislamiento térmico, etc.

3.2. Metodología empleada.

Dada la complejidad y viabilidad de algunas de las pruebas, la metodología se ha dividido en dos partes. Una que recoge todas las pruebas previas (pre-testing) que se han realizado con el fin de determinar la aptitud de varias técnicas para esta investigación. Y una segunda parte que recoge las actuaciones a seguir en los demás muros.

En el primer caso, se ha realizado varias pruebas con el fin de seleccionar y calibrar la instrumentación alámbrica e inalámbrica, y validación de la termografía.

3.2.1. Pruebas Pre-testing.

Uno de los estudios que se quieren llevar a cabo es la afección de las vibraciones que pudiesen transmitir los sistemas de corte. Éstos son generalmente sistemas rotativos que trabajan a una frecuencia fija determinada. Este hecho unido al desconocimiento de la frecuencia del elemento estructural resultan en la realización de ensayos en laboratorio para ajustar los rangos de trabajo de los acelerómetros y verificar que las señales obtenidas sean significativas. La forma de actuar inicial ha sido tomar una pieza de fábrica e inducir un pequeño movimiento rotativo y posterior adquisición de la señal con el equipo que posteriormente se utilizará en los ensayos de corte y cosido. Una vez comprobado que esta señal se detectó nítidamente por el equipo, se procedió a la medición en una probeta de hormigón, ya que el material se considera homogéneo. Los cortes se realizaron longitudinal como transversalmente y con acelerómetros de distintas sensibilidades. Finalmente, se ensayaron en probetas de muro de ladrillo macizo en dos situaciones típicas de obra: Un taladro y un corte con sierra de disco.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

En la Figura 3.1.2 se muestran detalles de estos trabajos. En la foto superior izquierda aparecen el sistema de adquisición alámbrico junto con los acelerómetros y la muestra utilizada durante una de las pruebas. En la esquina superior derecha se detalla el sistema de anclaje de los acelerómetros seleccionados para los ensayos definitivos. En las fotos inferiores izquierda y derecha se muestran las pruebas de corte con una pequeña sierra de disco y un taladro, respectivamente.

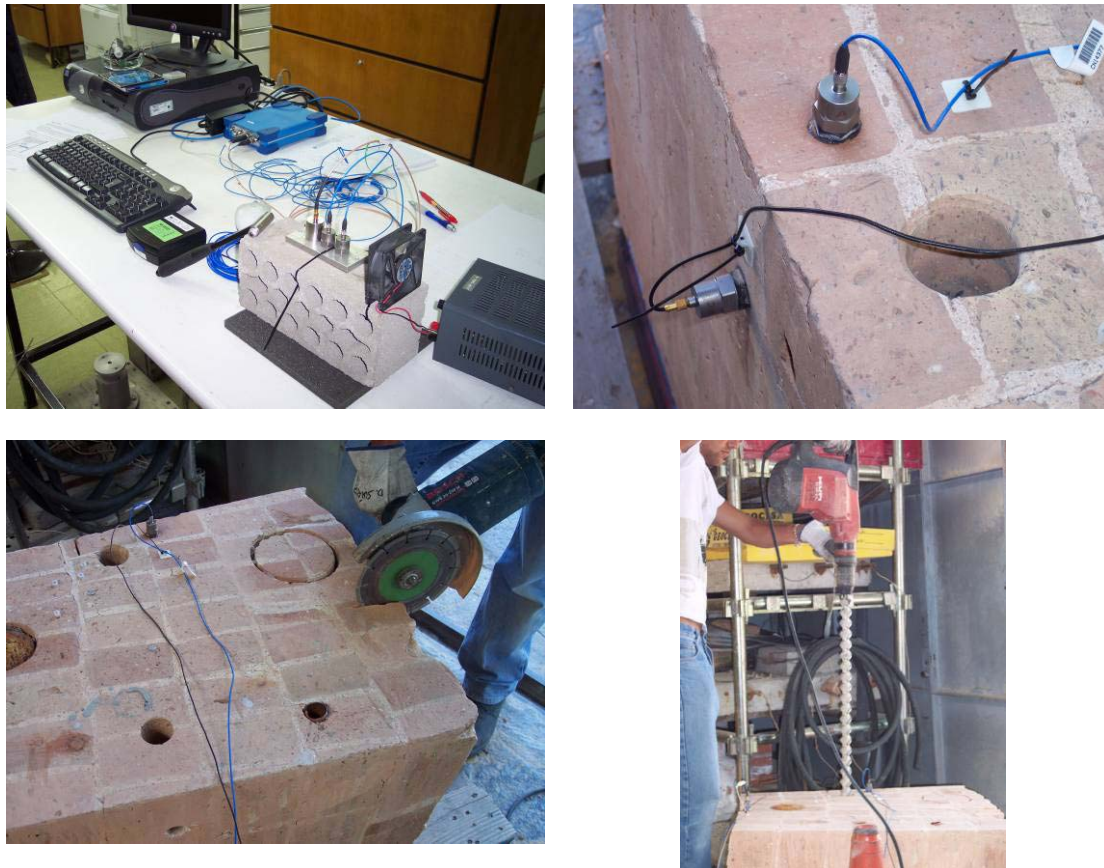


Figura 3.1.3. Pruebas pre-testing realizadas con acelerómetros alámbricos.

Otra técnica que ha necesitado la verificación de su aplicación es la termografía. Es bien sabido sus ventajas de no necesitar el contacto con la muestra y el ahorro de termopares para obtener similar información. En este caso, los 240x240 píxeles de la cámara corresponden a 57600 termopares. El protocolo de actuación ha sido diseñado de acuerdo a que la cámara puede tomar fotografías y guardarlas en su memoria interna; sin embargo, su capacidad de almacenamiento es limitada (32 imágenes).

Para aumentar la cantidad de información suministrada por la cámara, va a realizarse una grabación continua de video, dejando la capacidad de fotografiar para momentos concretos de cada ensayo. Para ello se será necesario Esperar a que el muro alcance el equilibrio térmico dentro de la nave. El ensayo debe realizarse, al menos, al día siguiente de haber introducido el bloque. Si no se respeta esta precaución, el muro puede estar disipando calor por haber estado en el exterior y, por tanto, falseando la medida. Además, se debe situar la cámara, con su trípode, frente al muro; perpendicular y centrado respecto a él. A 3m de distancia, la cámara puede registrar al muro en toda su

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

altura. No deben desplegarse las patas del trípode. La cámara no se mueve de su posición durante todo el ensayo.

A continuación se describe el proceso de grabación de video procedente de la cámara InfraTrace.

- Encender la cámara y comprobar que la imagen está enfocada.
- Comprobar que en la cámara está seleccionada la opción USB -> Disco de red.
- Encender el ordenador portátil.
- Conectar el cable USB entre la cámara y el ordenador.
- Ejecutar el programa VCL.
- Pulsar en el menú la opción Medio -> Abrir red y seleccionar:
 - Protocolo RSTP
 - Dirección 192.168.0.2
 - Pinchar el botón con el triángulo invertido que está junto al botón “Reproducir”. En la ventana que se abre marcar:
 - Encapsulamiento MP4
 - Codec de video MPEG-4.
 - Salida Reproducir localmente.
 - Archivo. Escribir en la casilla correspondiente el nombre del ensayo (por ejemplo “Muro piedra carga.mp4”)
 - Pulsar el botón “Salvar”.
 - Pulsar botón “Reproducir”. En este momento el ordenador comienza a capturar la imagen de video de la cámara.

Hay que tener presente que los ensayos van a producir cambios de temperatura no permanentes, por lo que la captación de imágenes debe estar en marcha antes de aplicar la herramienta o variar la carga del muro.

En la Figura 3.1.3.1 aparecen un ejemplo realizado sobre una varilla metálica. La prueba es un ensayo a tracción, en la secuencia se pueden distinguir pequeñas variaciones de temperatura.

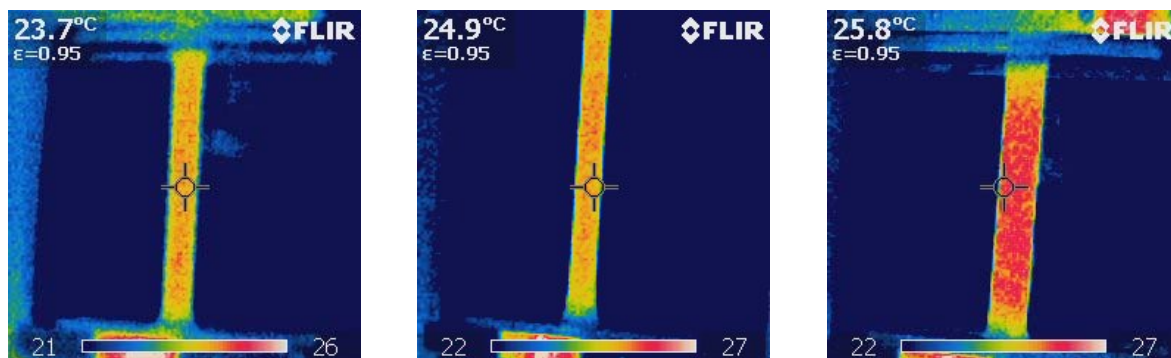


Figura 3.1.3.1. Secuencia de un ensayo de tracción en varilla metálica visto con una cámara termográfica.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

3.2.2. Ensayos de corte y cosido.

Después de seleccionar los sensores adecuados, conocer sus limitaciones; Seleccionar los ensayos no destructivos a aplicar, se hace necesario tomar unos valores de referencia frente a los que poder contrastar los resultados obtenidos de los ensayos ejecutados en el resto de los muros. Por este motivo, se realizaron dos ensayos a rotura en los muros de ladrillo hueco con el fin de determinar su tensión final y validar toda la toma de decisiones adoptadas hasta el momento. Dado que un bajo módulo de elasticidad podría dar lugar a una inestabilidad de la lectura de algún sensor se determinó realizar dos ensayos a rotura de un muro de ladrillo hueco confinado y otro sin confinar. Cada muro se trasladó desde su origen hasta el laboratorio de ensayos. Una vez en el interior se desencofró de su base, utilizando una sierra de disco y confinando el muro, aprovechando los perfiles angulares utilizados para su transporte y un sistema de encintado. Después se ubicó bajo el pórtico de reacción para el que se utilizó el puente grúa de la nave de ensayos. Una vez allí, se aplicó una capa de mortero autorregulador que sirviera de apoyo de las planchas metálicas que a su vez servirían de apoyo de las vigas de reparto. Éstas son perfiles HEB-300 de 670 mm de longitud, rigidizadas con cartelas de 16 mm de espesor dispuestas verticalmente cada 135 mm. Las dimensiones de las planchas metálicas son de 670 x 50 x 10 mm. Sobre cada uno de estos perfiles se dispuso un gato hidráulico de 2000 kN, conectado a un sistema de bombeo instrumentado. (Figura 3.1.3.2)

Uno de los fines era obtener la curva carga-deformación, por ello se situó en el centro superior del muro un extensómetro digital de 1 milésima de precisión referenciado a la solera del laboratorio. La carga aplicada era conocida ya que los datos de área útil del gato hidráulico y presión aplicada lo eran. Los escalones de carga a aplicar fueron pequeños al comienzo, 1 Kg/cm², para asegurar que el inicio de la curva quedaba registrado. Después, en función del criterio del técnico, estos escalones se podrían variar. Asimismo, se obtendrían los coeficientes de correlación para controlar las posibles dispersiones, y por tanto la idoneidad del sistema.

La cámara termográfica se empleó para estudiar si era capaz de detectar cambios de temperatura al entrar en carga el muro, al producirse fisuras o incluso la rotura final. La ubicación se hizo de acuerdo al protocolo descrito en el apartado 3.2.1. (Figura 3.1.3.2)

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



Figura 3.1.3.2. Disposición de la cámara termográfica durante el ensayo a rotura del muro confinado de ladrillo hueco.

Una vez ejecutados los ensayos de referencia, se investigará el comportamiento del resto de los muros. Éstos se ensayarán sin confinar, pero se les aplicará el 50% de su teórica carga de rotura de acuerdo a la normativa existente, en escalones de 1 Kg/cm^2 al comienzo y aumentándola gradualmente siguiendo el criterio del ingeniero responsable del trabajo, hasta un máximo de 5 Kg/cm^2 . En cada escalón de carga se harán medidas extensométricas y se tomarán medidas imágenes termográficas. Se determinarán las curvas carga-deformación y sus coeficientes de correlación, como en los muros anteriores.

Posteriormente, se medirán las tensiones en el muro, en su zona central, aplicando la técnica del gato plano, siguiendo el protocolo descrito en el apartado 3.1.1. comparando los resultados con los correspondientes de extensometría. Los cortes producidos y demás daños producidos con el ensayo serán reparados con resina epoxi. De esta manera se determinará la tensión a la que se encuentra sometido el muro y se podrá hallar la relación entre carga aplicada y absorbida por el elemento.

A continuación, se realizarán los ensayos de corte. Éstos se realizarán con útiles típicos, esto es, una sierra de disco e hilo de diamante. En cada muro se efectuarán dos cortes, uno con cada método, de manera que queden tres probetas iguales. Previamente, cada zona de las futuras probetas habrá sido instrumentada con sensores alámbricos e inalámbricos. Esto son acelerómetros, termistores e higrómetros. Los muros estarán cargados al 50% de su carga de rotura. Así se podrá estudiar el efecto de las vibraciones en estos elementos. Igualmente, quedará registrado con la cámara termográfica este proceso, con adquisiciones sincronizados con los demás sistemas de adquisición.

La siguiente operación a realizar será el cosido de las partes anteriormente independizadas, por las dos caras, de forma que las varillas se crucen. Éstas serán 4 varillas roscadas de acero, inoxidable o galvanizado, y de fibra de vidrio de 12 mm de diámetro y de 35 cm de longitud, separadas 25 cm. Previamente, las juntas serán cogidas con mortero de cal hidráulica aditivado con resina acrílica y el conjunto zunchado mediante encintado, para asegurar los cosidos e inyecciones.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Las perforaciones se efectuarán a rotación, controlándose las vibraciones y las inyecciones. Una vez cosidos y alcanzada la estabilidad, el muro volverá a ser cortado a un sexto de los extremos para contar con probetas para ensayos ulteriores.

Posteriormente, una vez alcanzada la resistencia debida en el producto de inyección, para comprobar la eficacia de los cosidos, el resto del muro será sometido a carga, de forma que los extremos ($1/6 L$) serán apoyados en toda su longitud y en la zona central ($1/3 L$) será suministrada una carga uniforme hasta llegar a la rotura de una de las uniones.

En la Figura 3.1.3.3 se ha representado las operaciones apenas mencionadas.

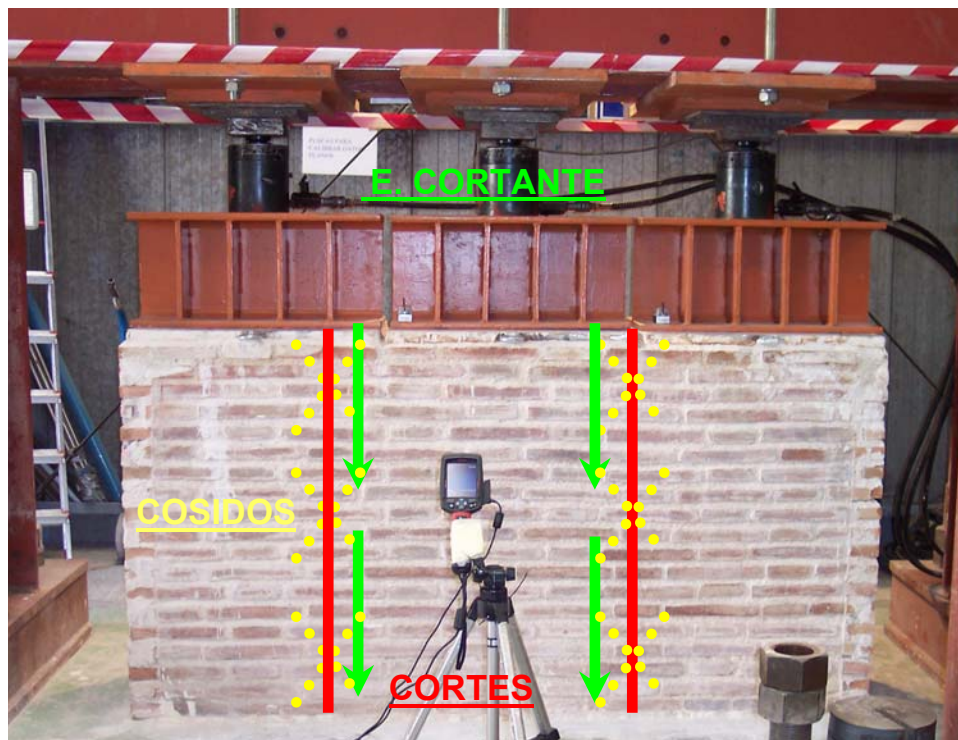


Figura 3.1.3.3. Esquema de actuación en los muros: En rojo vienen indicado los cortes, con hilo de diamante y sierra de disco. En amarillo los cosidos con varillas roscadas de acero y de fibra de vidrio. Y finalmente en verde la dirección y zona de la carga a la que se someterá a los perfiles.

Los restos no dañados serán cortados y tomados dos de ellos para determinar la carga de rotura a compresión (Figura 3.1.3.4). El tamaño de las probetas será tal que en el ensayo de compresión no aparezca el pandeo (color verde). Igualmente, se realizarán ensayos en los anclajes de tracción pura y flexotracción, que son las sollicitaciones más frecuentes, para ello se utilizarán cal hidráulica aditivada con resina epoxi en una varilla roscada de acero y en un anclaje tipo HIT-HY 20 (Hilti). De esta manera se investigará el comportamiento de un mortero más elástico y por tanto, de un comportamiento más parecido a los ya existentes. Como consecuencia no se inducirían puntos duros dentro de la estructura con el tiempo, y por lo tanto, teóricamente, no se crearían fisuras y las operaciones de mantenimiento disminuirían.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Cada una de las probetas llevará dos anclajes iguales, en los cuales será colocado un perfil L acartelado, para suministrar una carga uniformemente repartida hasta llegar a la rotura. En otras dos serán colocados sendos anclajes para su extracción pura.

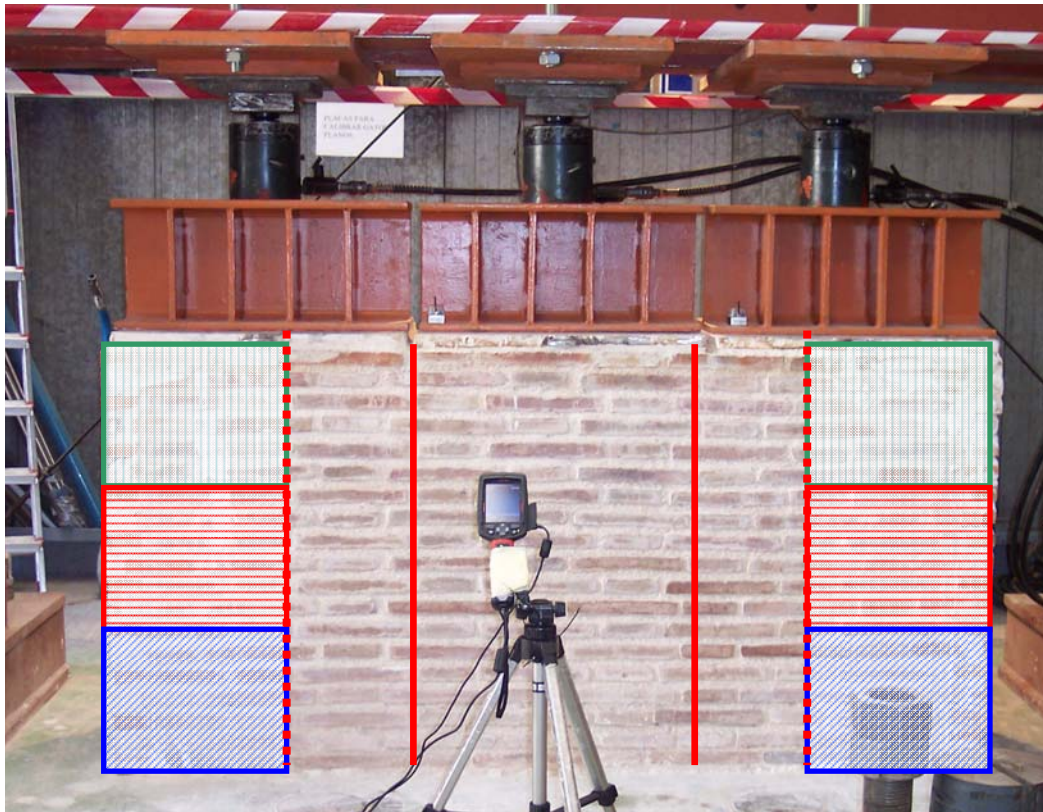


Figura 3.1.3.4. Segmentos utilizados para las pruebas finales de resistencia de muro (verde), y solicitaciones típicas de anclajes como son la tracción pura(roja) y la flexotracción (azul).

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

4. ANALISIS DE RESULTADOS

En este apartado se van a presentar los resultados obtenidos hasta la fecha. Se comenzará exponiendo los correspondientes a las pruebas de selección de acelerómetros. Éstas consistieron en la medida de interferencias, cortes de una probeta de hormigón en dirección perpendicular y longitudinal con una sierra de disco, golpes con un martillo de pólvora y un taladro percutor .

4.1. Pruebas realizadas en la selección de acelerómetros.

4.1.1. Medida de Control de Interferencias

La primera incógnita que se presentó fue la presencia de ruido eléctrico en la adquisición de datos. Para ello se registró la señal procedente el acelerómetro cuando la máquina estaba en funcionamiento, pero con ausencia de contacto con la probeta. De este modo se comprobó que el funcionamiento del motor no produce interferencias eléctricas que afecten al ensayo (Figura 4.1).

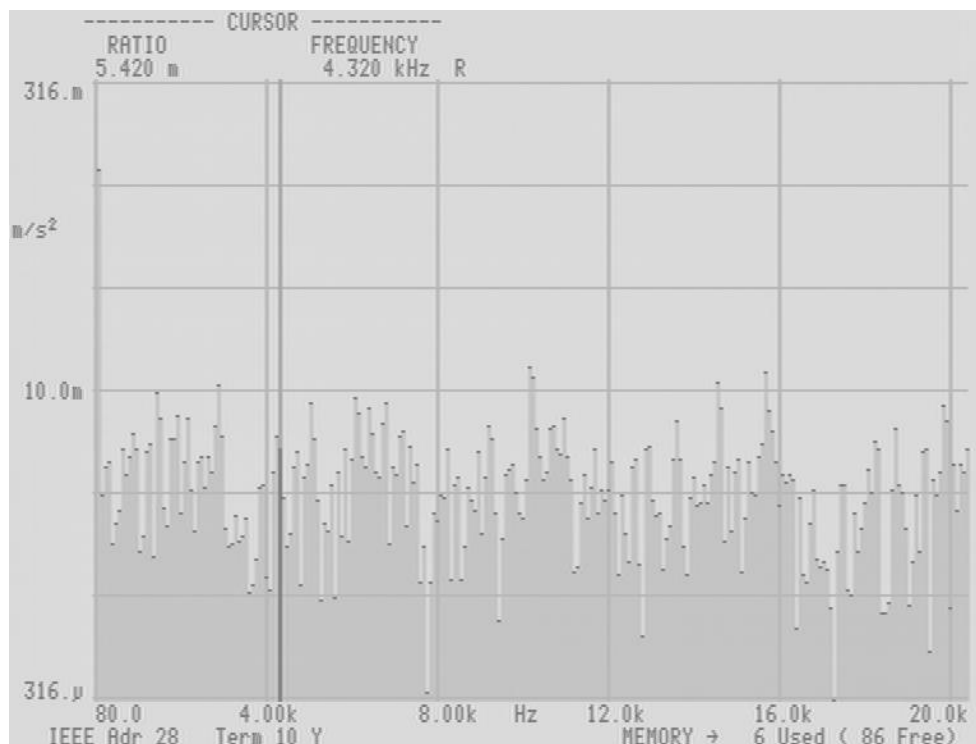


Figura 4.1. Registro de acelerómetros con sierra de disco en marcha en ausencia de contacto con la probeta.

4.1.2. Cortes Transversales al eje de la Probeta.

Posteriormente, se han realizado varios cortes en la probeta para verificar si los registros obtenidos no contuviesen ruido que impidiesen su buena interpretación así, como que

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

permitiesen una adecuada elección de los mismos. En la Figura 4.2 se muestran los tres espectros correspondientes a los tres cortes transversales que se perpetraron.

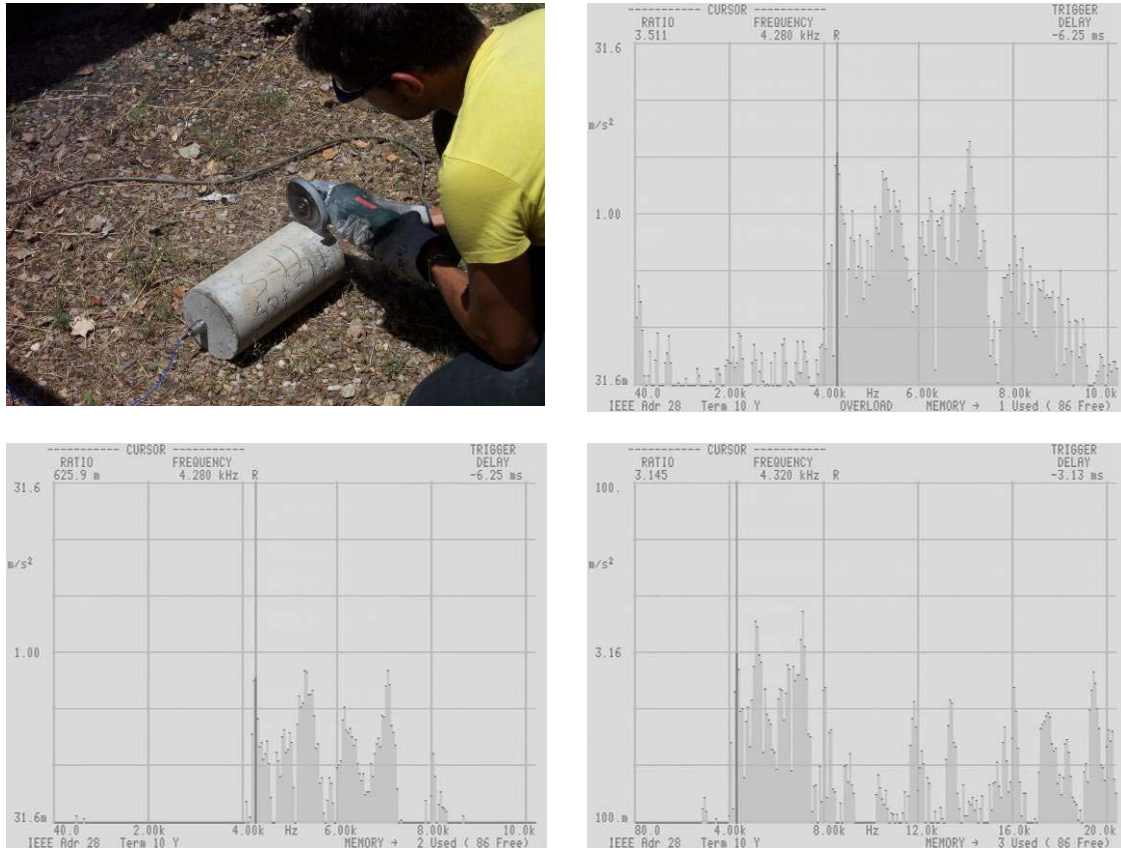


Figura 4.2. Esquina superior izquierda: Realización de corte transversal en la probeta de hormigón. Esquina superior derecha e inferiores: Espectros de aceleraciones longitudinales correspondientes al primer, segundo y tercer corte respectivamente.

Solo deben considerarse los picos de frecuencia que aparecen en el entorno de 4300Hz, ya que la frecuencia de corte del sensor es de 4800Hz.

La magnitud de la señal está en torno a 3m/s^2 y depende de la presión que ejerza el operario sobre la probeta. Los cortes se observan en la esquina superior de la probeta.

4.1.3. Cortes Longitudinales al eje de la Probeta.

En la Figura 4.3 aparecen los espectros de las aceleraciones correspondientes a dos cortes longitudinales realizados en la misma probeta de hormigón.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

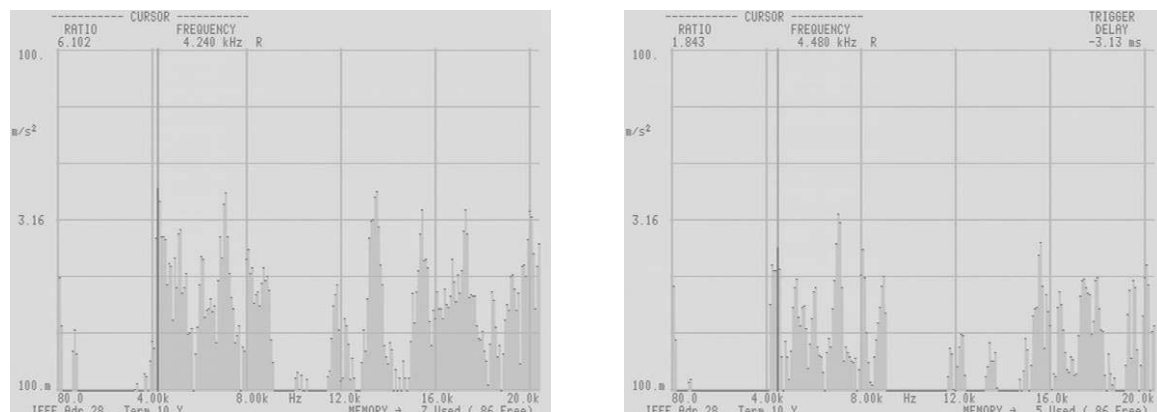


Figura 4.3. Espectro de aceleraciones longitudinales correspondientes a los dos cortes que se efectuaron.

Las consideraciones relativas a los rangos de frecuencia se mantuvieron.

Los cortes se realizaron en la zona inferior de la probeta. No se apreció diferencia significativa entre los espectros de cortes longitudinales y transversales.

Lo que sí se demostró en ambos casos es que los valores de aceleración producidos durante cualquier corte superaron los 3m/s^2 ($0.3g$).

Trasladando estos datos a la tabla de acelerómetros disponibles para el analizador que se utilizó en los ensayos reales -OROS34-, se dedujo que solo los sensores de la marca PCB entraron en los límites de frecuencia/rango extraídos en este estudio.

| Fabricante | Modelo | Rango (g) | Sensibilidad típica (V/g) | Ancho de banda (Hz) | Nº de unidades |
|-------------------|---------|-----------|---------------------------|---------------------|----------------|
| Wilcoxon Research | 731-207 | 0.5 | 10 | 0.2 -1300 | 1 |
| PCB | 352B | 5 | 1 | 1 - 15000 | 2 |
| PCB | 352A78 | 50 | 0.1 | 5 - 15000 | 2 |

Una vez seleccionados los acelerómetros. Éstos se probaron en una probeta de ladrillo macizo construída a tal efecto y con diversas máquinas herramienta (un martillo, un taladro y una sierra). Las medidas se controlaron desde el ordenador instalado junto a la probeta. El inicio de la adquisición fue automático, produciéndose cada vez que el instrumento registraba un nivel de vibración superior al valor de disparo preestablecido.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

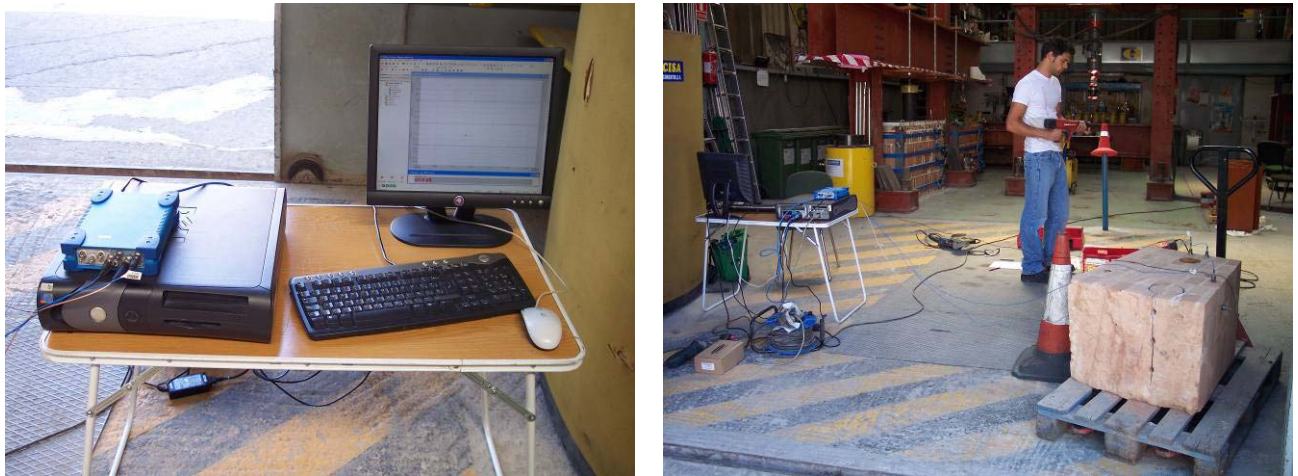


Figura 4.4. Izquierda: Equipo de adquisición. Derecha: Montaje de acelerómetros en la probeta.

La duración del registro programada fue de 2 minutos, sin embargo, para evitar un deterioro excesivo de la probeta, los registros se finalizaron a los 12 segundos.

Para cada máquina herramienta se estudió el nivel de disparo adecuado. Los valores fueron muy inferiores a los inicialmente programados (0.5m/s^2). Las máquinas utilizadas han sido un martillo de pólvora, una sierra de disco y un taladro percutor en sus tres posiciones de trabajo.

Todos los gráficos que se muestran a continuación tienen la misma asignación de colores para los sensores.

- ▶ File: Rec: Sig [1]-Eje Z
- ▶ File: Rec: Sig [2]-Eje Y
- ▶ File: Rec: Sig [3]-Eje X1
- ▶ File: Rec: Sig [4]-Eje X2

4.1.4. Martillo de Pólvora.

Se utilizaron cartuchos de pólvora serie roja. El regulador de fuerza de impacto de la pistola estaba situado en nivel 2.

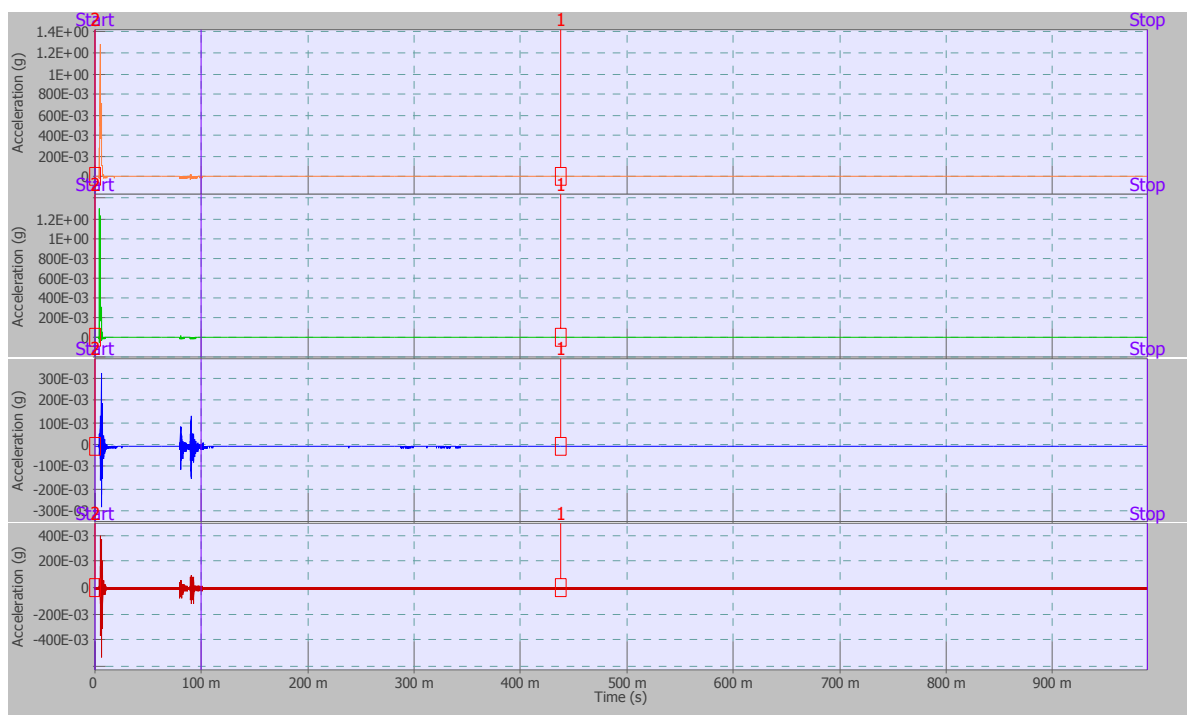
Después de varias pruebas, se ajustó el nivel de disparo para el inicio de la adquisición en 5mm/s^2 . En el centro de la Figura 4.5 se observan los tornillos clavados en diferentes disparos.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



Figura 4.5. Detalle de ubicación de sensores.

En las siguientes figuras se muestran los resultados para los registros en el tiempo de los cuatro acelerómetros empleados y sus espectros de frecuencia en términos de aceleración y velocidad.



E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

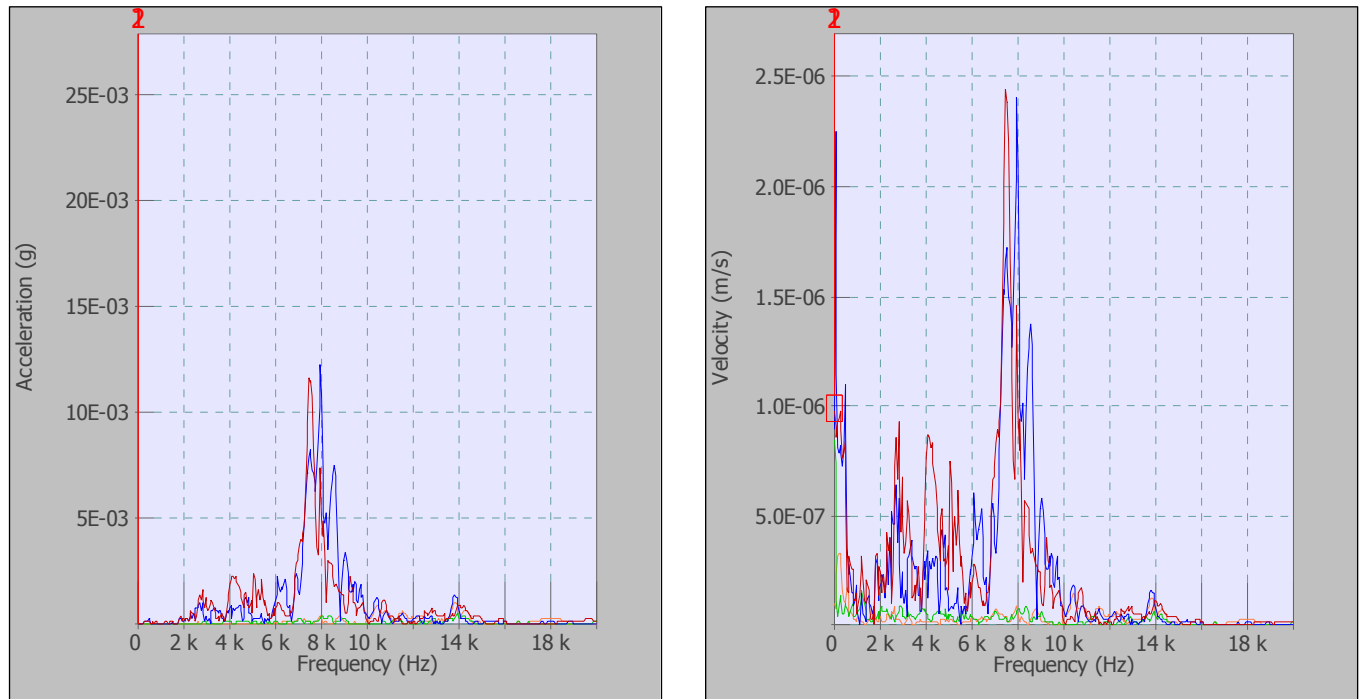


Figura 4.6. Arriba registros de los acelerómetros. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

El archivo se corresponde con un único disparo. Las señales a 100ms del inicio son rebotes de la pistola por el retroceso.

4.1.5. Sierra de disco.

El siguiente útil que se probó fue la sierra radial. Según las especificaciones del fabricante, el disco gira a 6500 r.p.m. en vacío; y tiene 14 dientes. Después de varias pruebas, se ajustó el nivel de disparo para el inicio de la adquisición en 0.1mm/s^2 . Se realizaron dos cortes en el bloque, a 90° , en el plano superior (Figura 4.7).



Figura 4.7. Detalle del corte producido con la sierra de disco.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Corte rectilíneo hecho con la radial. La muesca fue abriéndose durante las pruebas de selección del nivel de disparo.

Su registro (radial 4) se realizó sin sacar el disco de la ranura, es decir, la herramienta se conectó y desconectó con el disco en la hendidura.

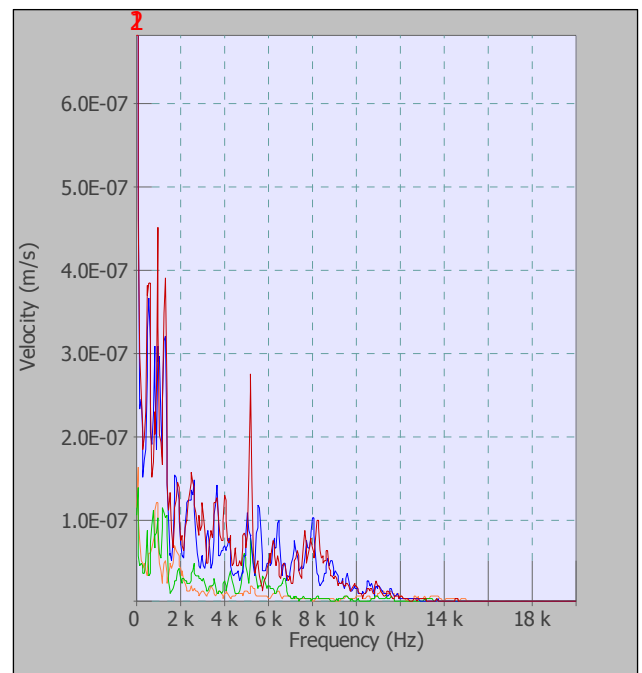
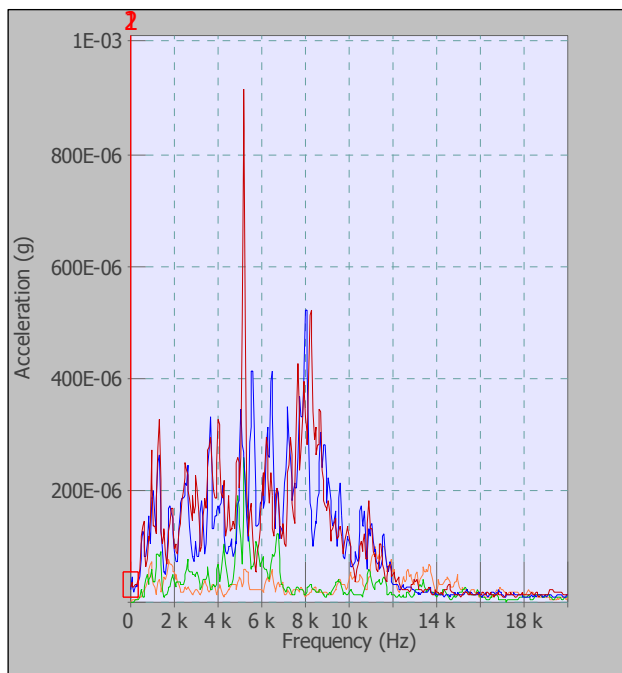
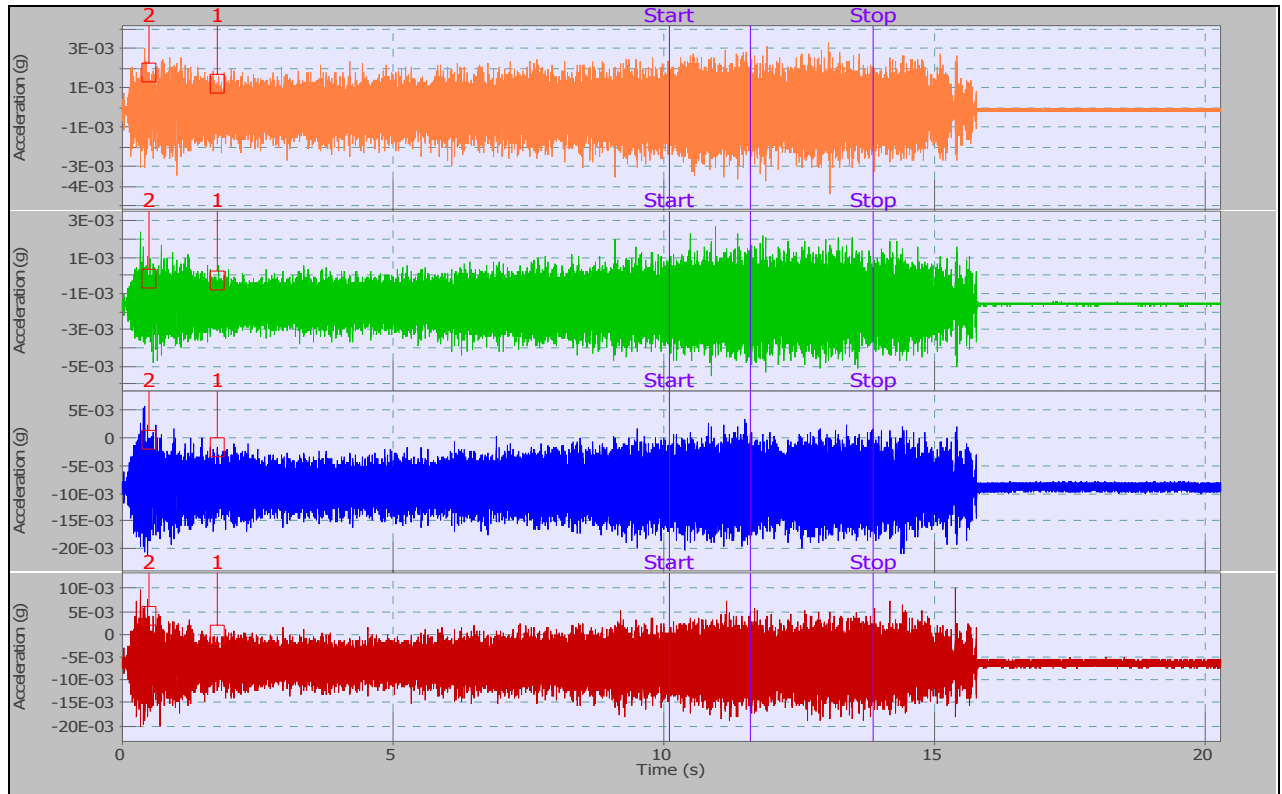


Figura 4.8. Arriba registros de los acelerómetros durante el corte con la sierra de disco. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Durante un segundo corte, al final del registro aparece un aumento de señal. Se debió a que se sacó el disco de la ranura con la máquina en marcha.

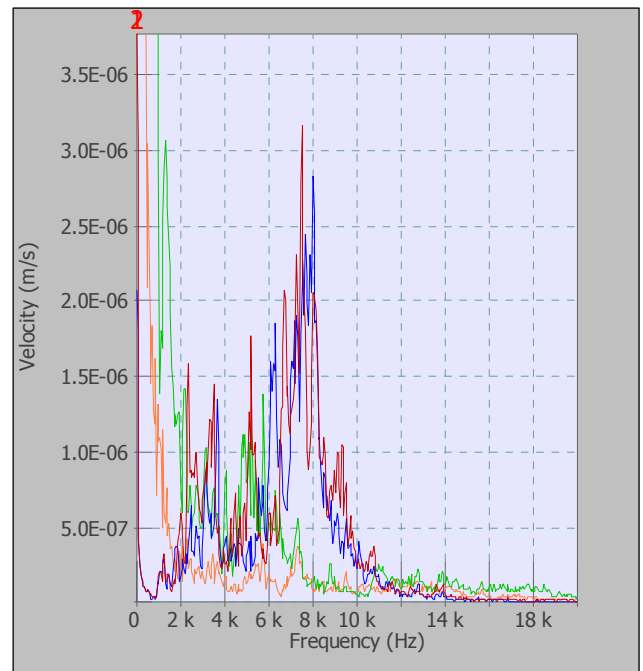
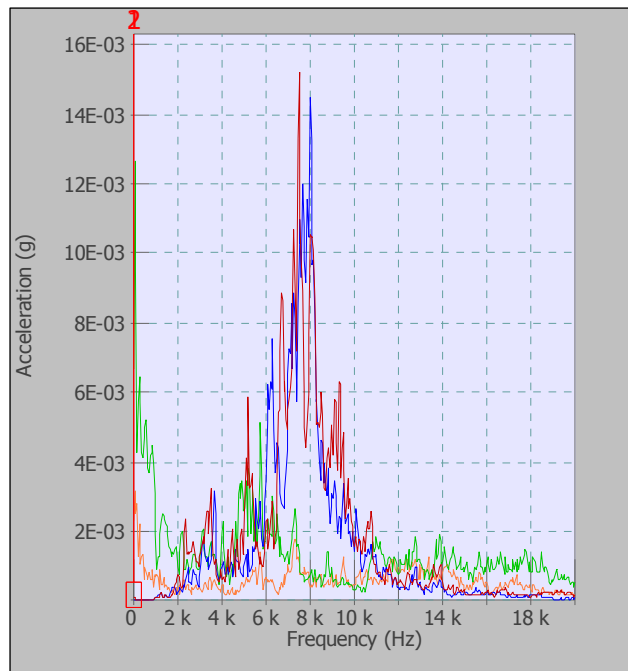
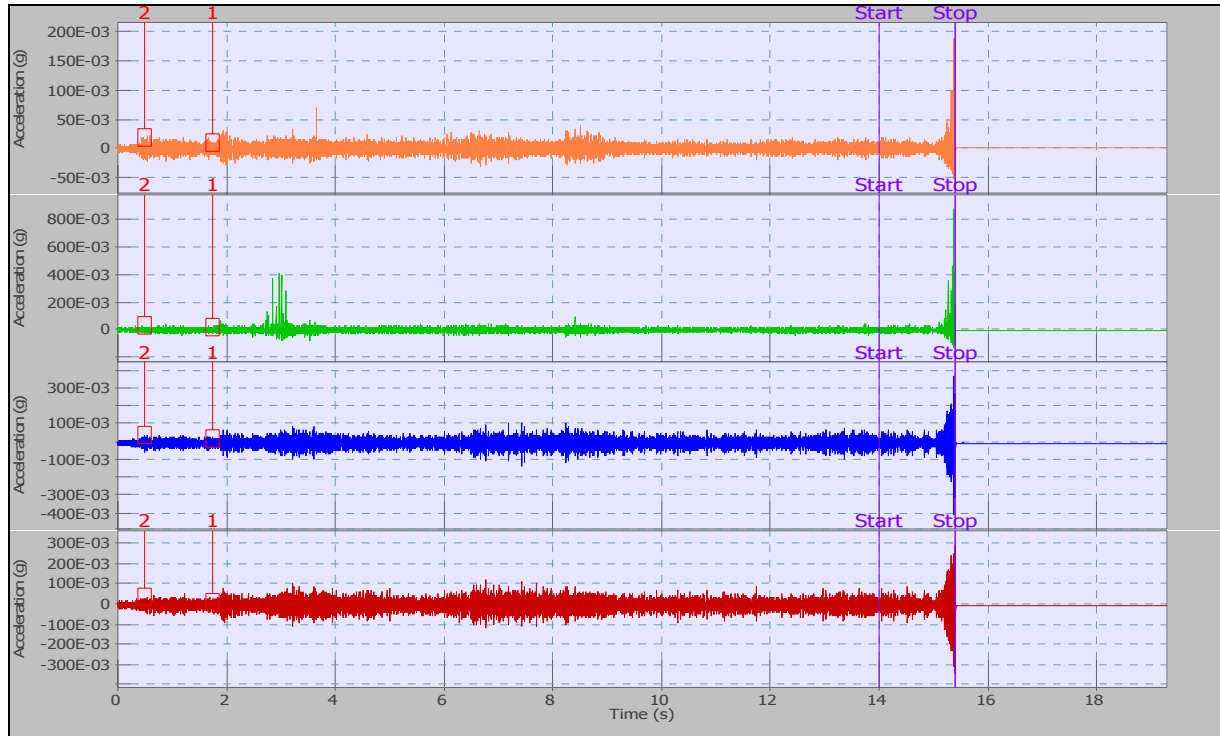


Figura 4.9. Arriba registros de los acelerómetros durante el corte con la sierra de disco. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

4.1.6. Taladro percutor.

Se realizó una medida en cada uno de los tres modos de funcionamiento del taladro: solo percutor, percutor y giro I (250 r.p.m.) y percutor y giro II (282 r.p.m.). La broca utilizada tenía un diámetro de 40mm. Después de varias pruebas, se ajustó el nivel de disparo para el inicio de la adquisición en 0.5mm/s^2 .

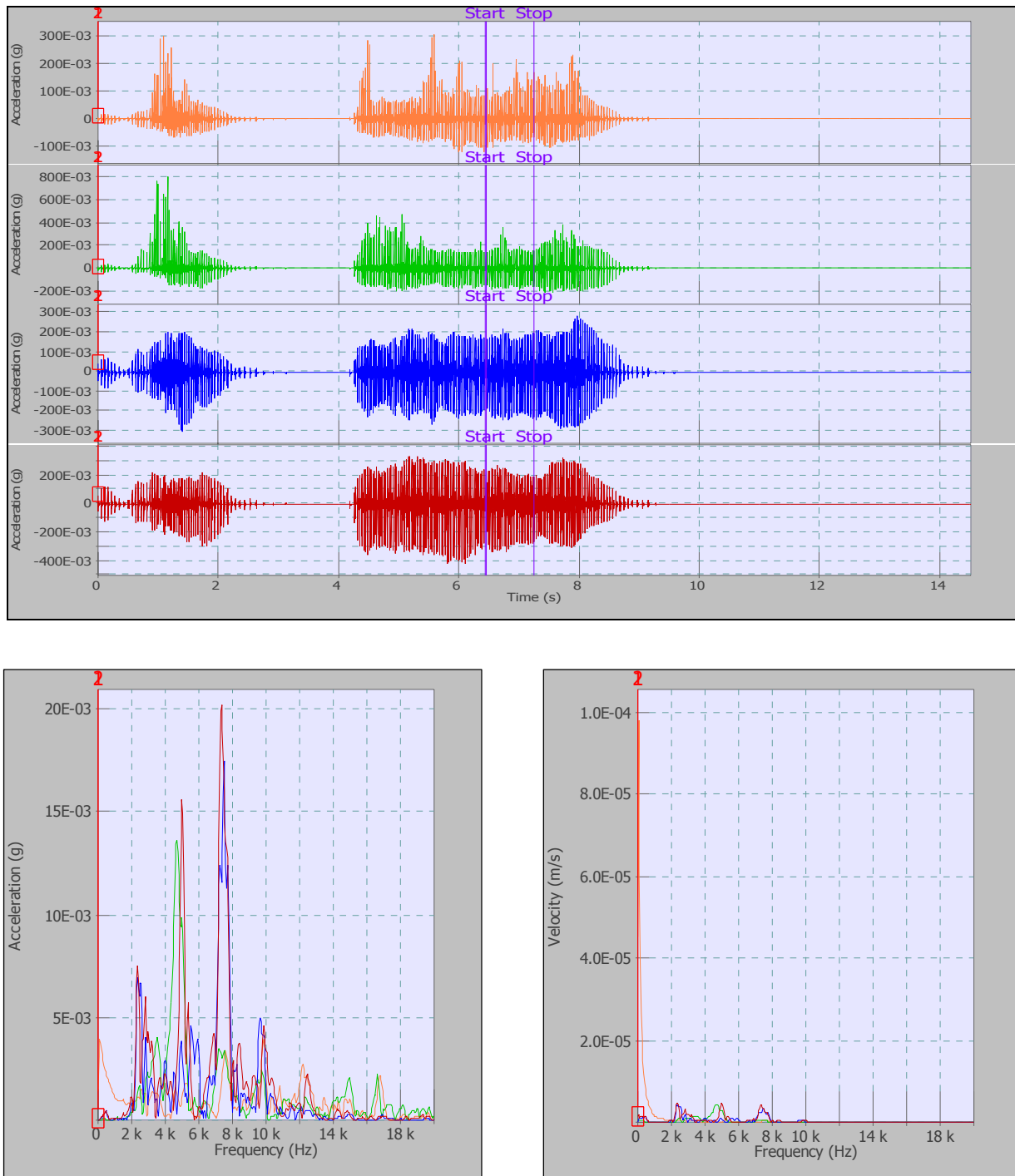


Figura 4.10. Arriba registros de los acelerómetros durante el corte con el taladro percutor. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

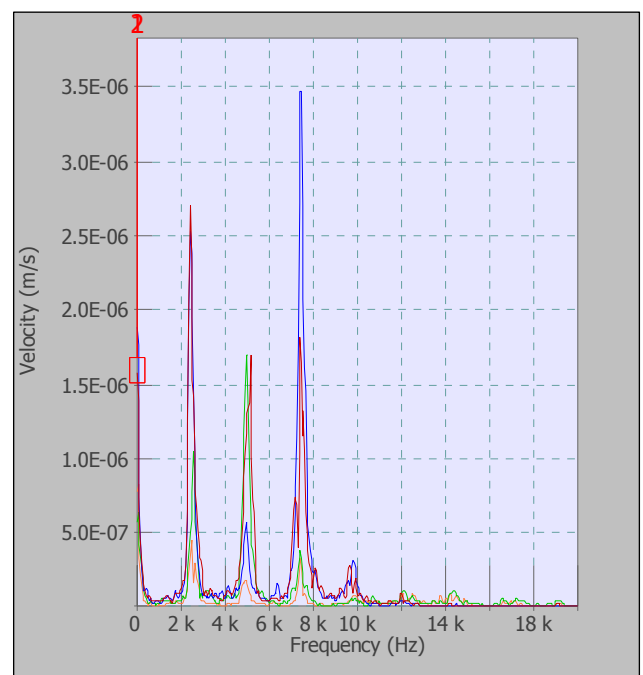
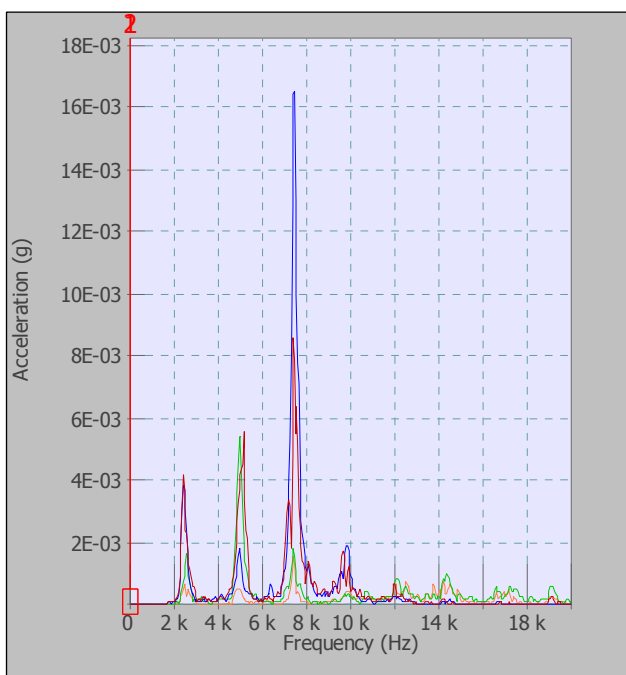
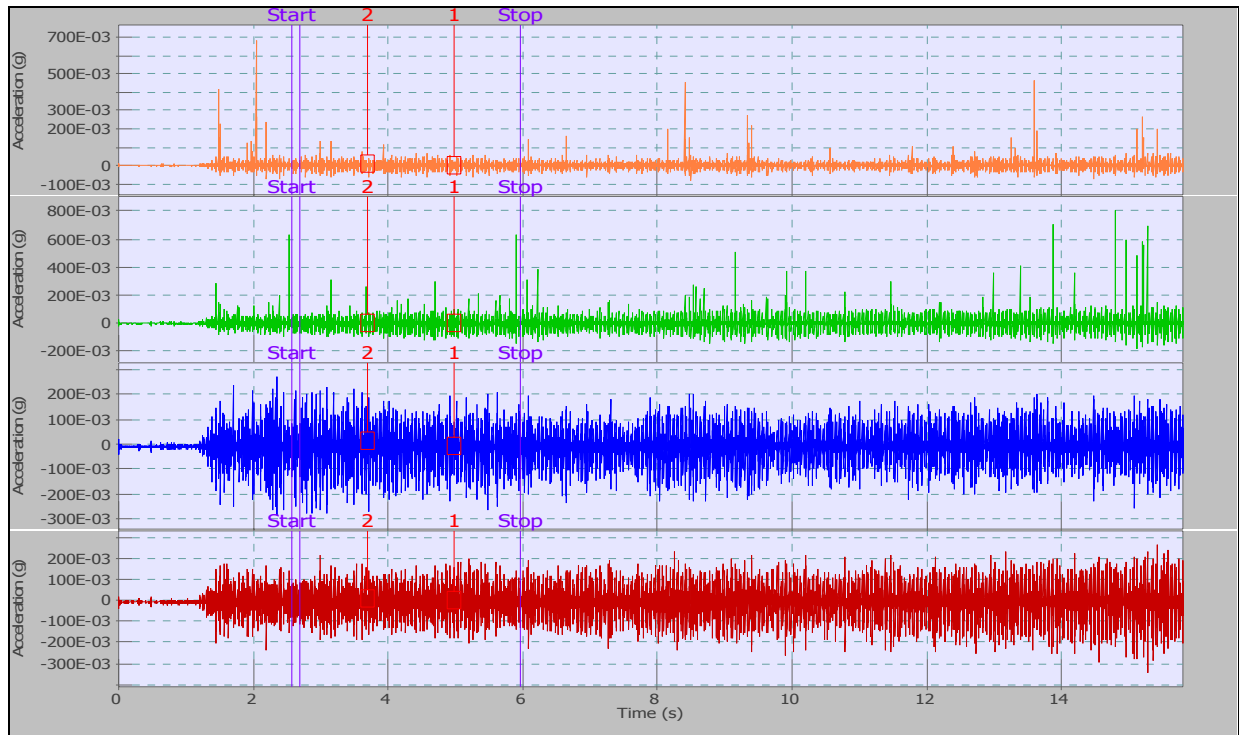


Figura 4.11. Arriba registros de los acelerómetros durante el corte con el taladro percutor y giro. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

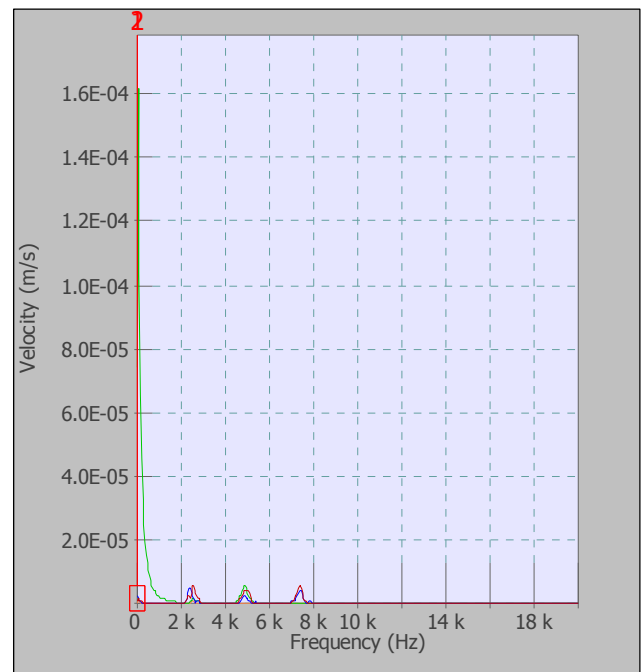
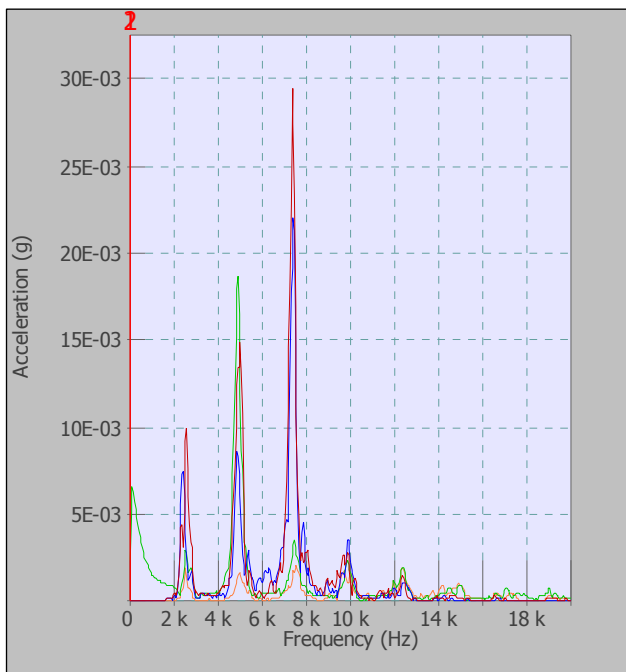
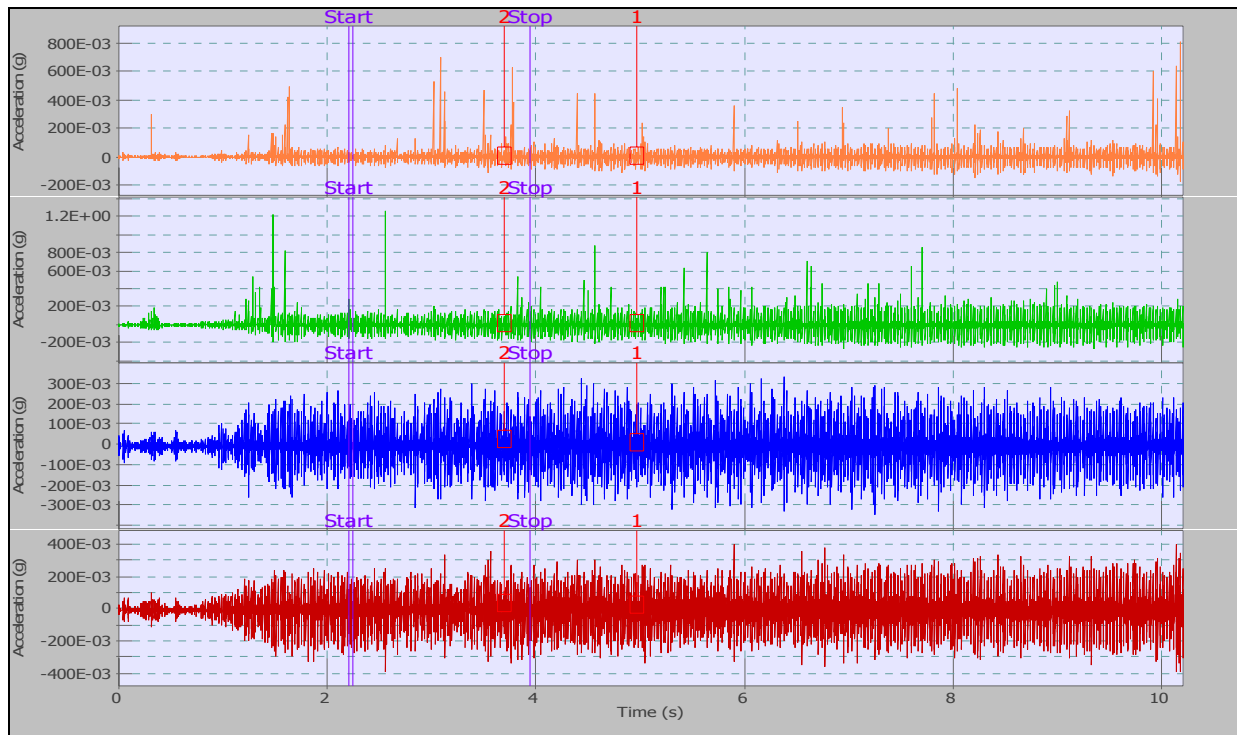


Figura 4.12. Arriba registros de los acelerómetros durante el corte con el taladro percutor y giro II. Abajo Espectros de la aceleración y velocidad para los mismos sensores.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

4.2. Muros de ladrillo hueco.

En este apartado se van a mostrar los resultados de los ensayos a rotura que se han llevado a cabo en los muros de ladrillo hueco confinado y sin confinar.

Como ya se ha comentado con anterioridad uno de los fines que se perseguían era obtener la curva de carga/deformación. Como el material es muy frágil y tiene poca capacidad portante, se decidió aplicar unos escalones de carga muy pequeños, que después se fueron incrementando, según se indica en la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2

| Carga Muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura (°C) |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| 1.7136 | 2 | | 0,006 | 0,17136 | 28.8 |
| 2.5704 | 3 | 1 | 0,006 | 0,25704 | 28.7 |
| 3.4272 | 4 | 1 | 0,006 | 0,34272 | 28.6 |
| 4.284 | 5 | 1 | 0,006 | 0,4284 | 28.5 |
| 5.1408 | 6 | 1 | 0,006 | 0,51408 | 28.5 |
| 5.9976 | 7 | 1 | 0,006 | 0,59976 | 28.5 |
| 6.8544 | 8 | 1 | 0,006 | 0,68544 | 28.5 |
| 7.7112 | 9 | 1 | 0,006 | 0,77112 | 28.8 |
| 8.568 | 10 | 1 | 0,006 | 0,8568 | 28.5 |
| 10.2816 | 12 | 2 | 0,006 | 1,02816 | 29.2 |
| 11.9952 | 14 | 2 | 0,006 | 1,19952 | 28.8 |
| 13.7088 | 16 | 2 | 0,006 | 1,37088 | 29 |
| 15.4224 | 18 | 2 | 0,006 | 1,54224 | 29 |
| 17.136 | 20 | 2 | 0,006 | 1,7136 | 28.6 |
| 21.42 | 25 | 5 | 0,016 | 2,142 | 29.3 |
| 25.704 | 30 | 5 | 0,021 | 2,5704 | 29.1 |
| 27.4176 | 32 | 2 | 0,027 | 2,74176 | 29.6 |
| 29.1312 | 34 | 2 | 0,032 | 2,91312 | 29.2 |

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

| Carga Muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura (°C) |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| 30.8448 | 36 | 2 | 0,037 | 3,08448 | 29 |
| 32.5584 | 38 | 2 | 0,042 | 3,25584 | 29 |
| 34.272 | 40 | 2 | 0,047 | 3,4272 | 29.2 |
| 35.9856 | 42 | 2 | 0,05 | 3,59856 | 29.1 |
| 37.6992 | 44 | 2 | 0,054 | 3,76992 | 29.1 |
| 39.4128 | 46 | 2 | 0,058 | 3,94128 | 29 |
| 41.1264 | 48 | 2 | 0,062 | 4,11264 | 28.6 |
| 42.84 | 50 | 2 | 0,068 | 4,284 | 29 |
| 44.5536 | 52 | 2 | 0,075 | 4,45536 | 28.7 |
| 46.2672 | 54 | 2 | 0,08 | 4,62672 | 28.9 |
| 47.9808 | 56 | 2 | 0,088 | 4,601016 | 28.9 |
| 49.6944 | 58 | 2 | 0,09 | 4,66956 | 29.2 |
| 51.408 | 60 | 2 | 0,091 | 4,79808 | 29 |
| 55.692 | 65 | 5 | 0,094 | 4,96944 | 29.2 |
| 59.976 | 70 | 5 | 0,098 | 5,1408 | 28.9 |
| 64.26 | 75 | 5 | 0,1 | 5,1408 | 29 |
| 68.544 | 80 | 5 | 0,109 | 5,5692 | 29.1 |
| 70.2576 | 82 | 2 | 0,174 | 7,02576 | 29.4 |
| 71.9712 | 84 | 2 | 0,185 | 7,19712 | 28.9 |
| 73.6848 | 86 | 2 | 0,196 | 7,36848 | 29.7 |
| 75.3984 | 88 | 2 | 0,205 | 7,53984 | 29.3 |
| 77.112 | 90 | 2 | 0,211 | 7,7112 | 29.7 |
| 78.8256 | 92 | 2 | 0,216 | 7,88256 | 29.2 |
| 80.5392 | 94 | 2 | 0,221 | 8,05392 | 29.7 |

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

| Carga Muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura (°C) |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| 82.2528 | 96 | 2 | 0,226 | 8,22528 | 29.6 |
| 83.9664 | 98 | 2 | 0,23 | 8,39664 | 29.7 |
| 85.68 | 100 | 2 | 0,235 | 8,568 | 29.2 |
| 89.1072 | 104 | 4 | 0,229 | 8,91072 | 29.1 |
| 92.5344 | 108 | 4 | 0,238 | 9,25344 | 29.3 |
| 95.9616 | 112 | 4 | 0,243 | 9,59616 | 29.5 |
| 99.3888 | 116 | 4 | 0,249 | 9,93888 | 29.6 |
| 102.816 | 120 | 4 | 0,254 | 9,93888 | 29.3 |
| 106.2432 | 124 | 4 | 0,269 | 10,2816 | 29.6 |
| 107.9568 | 126 | 2 | 0,279 | 10,62432 | 29.3 |
| 114.8112 | 134 | 8 | 0,294 | 10,79568 | 29.7 |
| 118.2384 | 138 | 4 | 0,314 | 11,1384 | 29.7 |
| 121.6656 | 142 | 4 | 0,328 | 11,48112 | 29.7 |

Tabla 4.1. Escalones de carga aplicados al muro de ladrillo hueco confinado, deformaciones tensión y temperaturas medidas.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

| Carga muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura °C |
|-------------------|---------------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1.7136 | 2 | | 0 | 0,17136 | 26.4 |
| 3.4272 | 4 | 2 | 0 | | 27 |
| 5.1408 | 6 | 2 | 0 | 0,34272 | 27 |
| 5.9976 | 7 | 1 | 0 | | 27 |
| 6.8544 | 8 | 1 | 0,025 | 0,51408 | 26.8 |
| 7.7112 | 9 | 1 | 0,05 | 0,59976 | 26.6 |
| 8.568 | 10 | 1 | 0,068 | 0,68544 | 26.7 |
| 10.2816 | 12 | 2 | 0,079 | 0,77112 | 26.8 |
| 11.9952 | 14 | 2 | 0,093 | 0,8568 | 26.8 |
| 13.7088 | 16 | 2 | 0,12 | 1,02816 | 27 |
| 15.4224 | 18 | 2 | 0,14 | 1,19952 | 26.8 |
| 17.136 | 20 | 2 | 0,161 | 1,37088 | 26.9 |
| 19.7064 | 23 | 3 | 0,177 | 1,54224 | 27 |
| 20.5632 | 24 | 1 | 0,195 | 1,7136 | 27.2 |
| 22.2768 | 26 | 2 | 0,2 | 1,7136 | 27.4 |
| 23.9904 | 28 | 2 | 0,222 | 1,97064 | 26.9 |
| 25.704 | 30 | 2 | 0,228 | 2,05632 | 27.6 |
| 27.4176 | 32 | 2 | 0,236 | 2,142 | 27.1 |
| 29.1312 | 34 | 2 | 0,244 | 2,22768 | 26.9 |
| 30.8448 | 36 | 2 | 0,259 | 2,39904 | 27.3 |
| 32.5584 | 38 | 2 | 0,269 | 2,5704 | 27.2 |
| 34.272 | 40 | 2 | 0,283 | 2,74176 | 26.8 |
| 35.9856 | 42 | 2 | 0,296 | 2,91312 | 26.9 |
| 37.6992 | 44 | 2 | 0,309 | 3,08448 | 27.3 |

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

| Carga muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura °C |
|-------------------|---------------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|-------------------|
| 39.4128 | 46 | 2 | 0,325 | 3,25584 | 27.4 |
| 41.1264 | 48 | 2 | 0,341 | 3,4272 | 26.6 |
| 42.84 | 50 | 2 | 0,343 | 3,4272 | 27.4 |
| 44.5536 | 52 | 2 | 0,363 | 3,59856 | 26.9 |
| 46.2672 | 54 | 2 | 0,381 | 3,76992 | 27 |
| 47.124 | 55 | 1 | 0,397 | 3,94128 | 27.4 |
| 47.9808 | 56 | 1 | 0,416 | 4,11264 | 27.2 |
| 49.6944 | 58 | 2 | 0,43 | 4,284 | 27.3 |
| 50.5512 | 59 | 1 | 0,439 | 4,45536 | 27.2 |
| 51.408 | 60 | 1 | 0.517 | 5,1408 | 27.4 |
| 53.1216 | 62 | 2 | 0,559 | 5,31216 | 27 |
| 54.8352 | 64 | 2 | 0,58 | 5,48352 | 27.1 |
| 55.692 | 65 | 1 | 0,59 | 5,5692 | 27.3 |
| 56.5488 | 66 | 1 | 0,602 | 5,65488 | 26.9 |
| 58.2624 | 68 | 2 | 0,63 | 5,82624 | 27.2 |
| 59.1192 | 69 | 1 | 0,644 | 5,91192 | 27 |
| 59.976 | 70 | 1 | 0,658 | 5,9976 | 27.1 |
| 61.6896 | 72 | 2 | 0,683 | 6,16896 | 27.5 |
| 63.4032 | 74 | 2 | 0,725 | 6,34032 | 27.2 |
| 68.544 | 80 | 6 | 0,805 | 6,8544 | 27.9 |
| 77.112 | 90 | 10 | 0,917 | 7,7112 | 27.5 |
| 83.1096 | 97 | 7 | 1,034 | 7,79688 | 27.7 |
| 84.8232 | 99 | 2 | 1,059 | 8,48232 | 27.3 |
| 85.68 | 100 | 1 | 1,123 | 8,568 | 27.7 |

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

| Carga muro (t) | Presión Gato (Kg/cm ²) | Salto Presión (Kg/cm ²) | Deformación (ε) | Tensión (Kg/cm ²) | Temperatura °C |
|-------------------|---------------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|-------------------|
| 87.3936 | 102 | 2 | 1,167 | 8,73936 | 27.3 |
| 89.964 | 105 | 3 | 1,31 | 8,9964 | 27.4 |
| 92.5344 | 108 | 3 | 1,377 | 9,25344 | 27.6 |
| 104.5296 | 122 | 14 | 1,7 | 10,45296 | 28.4 |
| 107.9568 | 126 | 4 | 1,76 | 10,79568 | 28.2 |
| 111.384 | 130 | 4 | 1,825 | 11,1384 | 28.3 |
| 118.2384 | 138 | 8 | 1,965 | 11,82384 | 28.5 |

Tabla 4.2. Escalones de carga aplicados al muro de ladrillo hueco confinado, deformaciones tensión y temperaturas medidas.

La imagen muestra todas las imágenes térmicas tomadas durante el ensayo. Las cuatro primeras corresponden al rango de medida entre 26 y 40°C; el resto son del rango 26 a 35°C.

Se aprecia un progresivo cambio de tonalidad de azul a verde que se corresponde con el incremento de la temperatura ambiental durante la ejecución del ensayo

E2.20 - Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

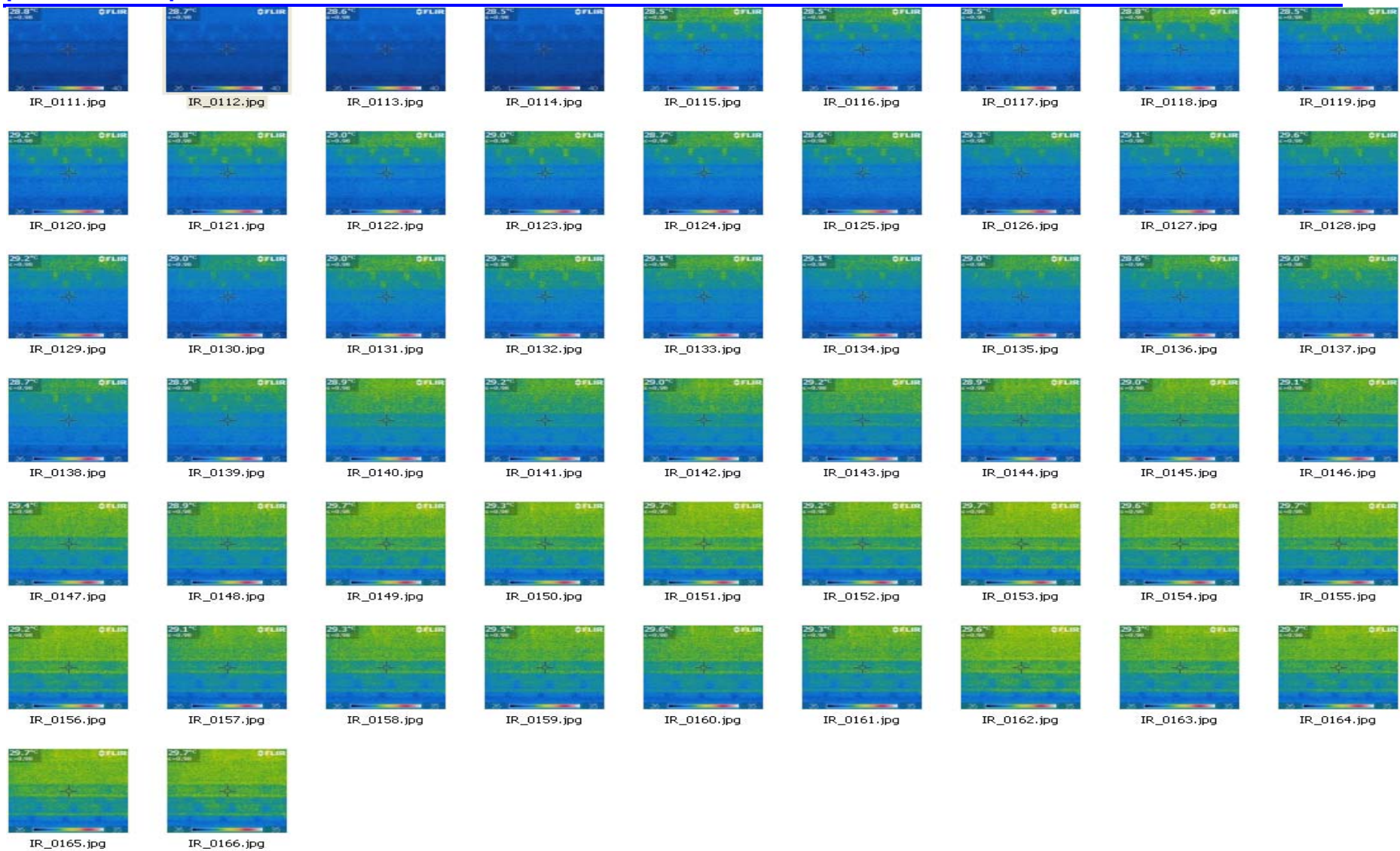


Figura 4.13. Secuencia de las termografías tomadas durante el ensayo a rotura del muro confinado

E2.20 - Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

En la Figura 4.14 se han representado las variaciones de temperatura ambiente, del muro, y de referencia con el tiempo. Como se observa existe una relación directa entre el aumento de temperatura ambiente y el aumento de temperatura del muro. La cámara parece no detectar las microfisuras y spalling. Las razones podrían ser varias o una mezcla de ellas. Una de ellas podría ser las paradas que se realizaron durante el proceso de carga. Esto es, al cometer el ensayo de manera casi estática, el muro es capaz de disipar la posible energía acumulada y por tanto, no se aprecia en la gráfica. Otro motivo sería la precisión de la cámara que es 0.6°C .

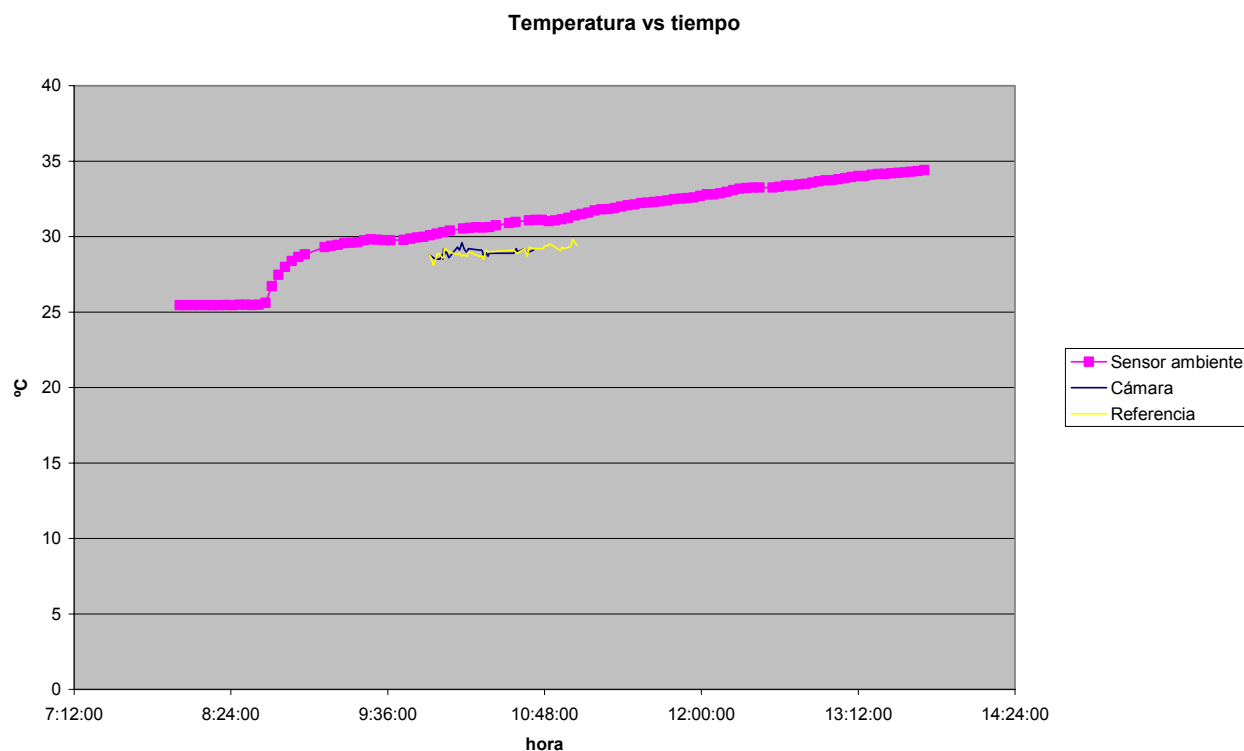


Figura 4.14. Variación de la temperatura ambiente, referencia y muro durante el ensayo.

Para determinar si se han producido cambios en la temperatura del muro al aplicar las cargas, se ha obtenido de la grabación de video un valor de referencia; este valor se corresponde con la temperatura instantánea que se registra en el momento que el reloj cambia de un minuto al siguiente.

Además, si se representan los saltos de temperatura frente a la presión y al diferencial de presión se observa que no existe correlación entre las variables, es decir, todos los saltos de temperatura se pueden producir a cualquier carga o salto de carga, Figura 4.15 y Figura 4.16.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

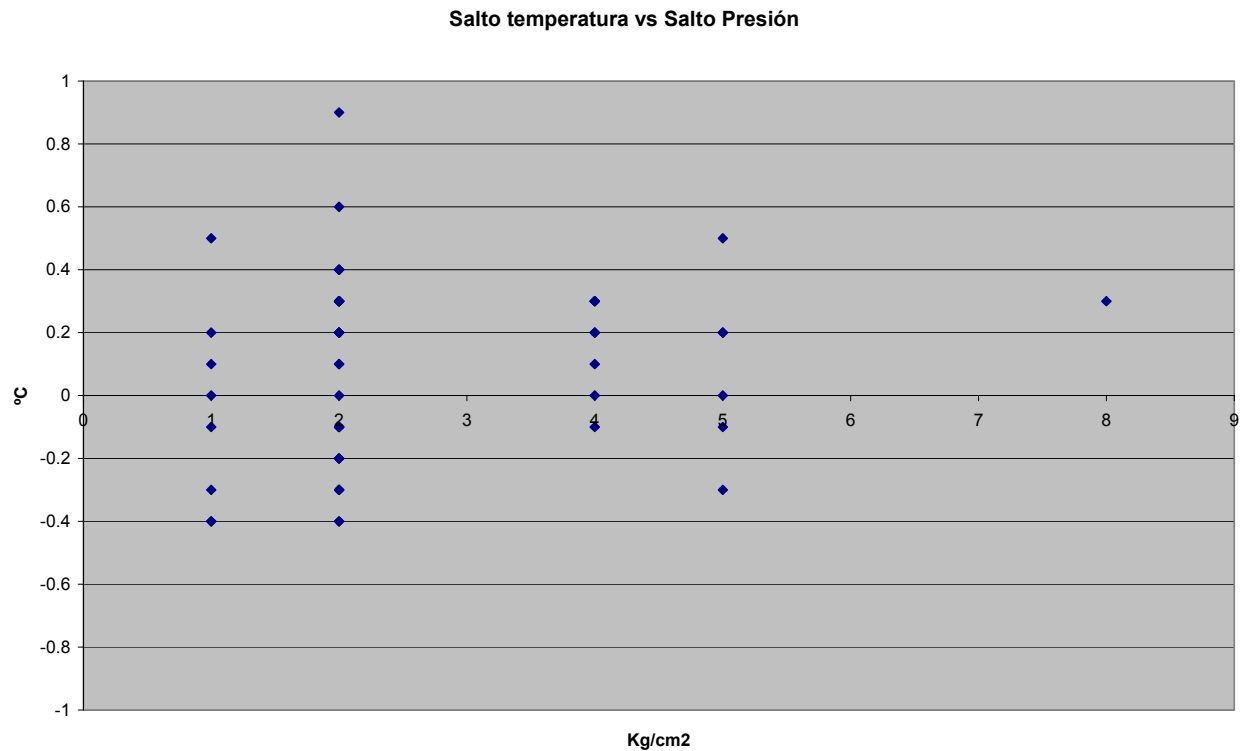


Figura 4.15. Representación de los saltos de temperatura entre escalones frente a los saltos de escalones de presión.

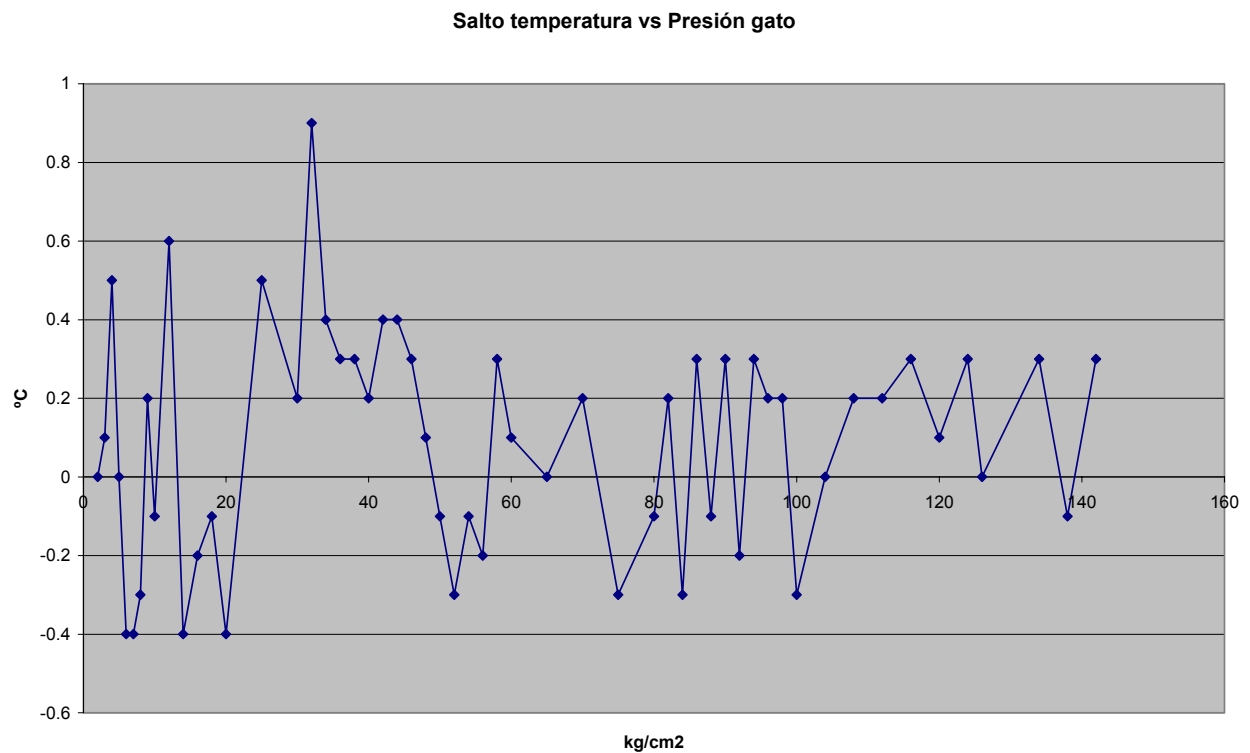
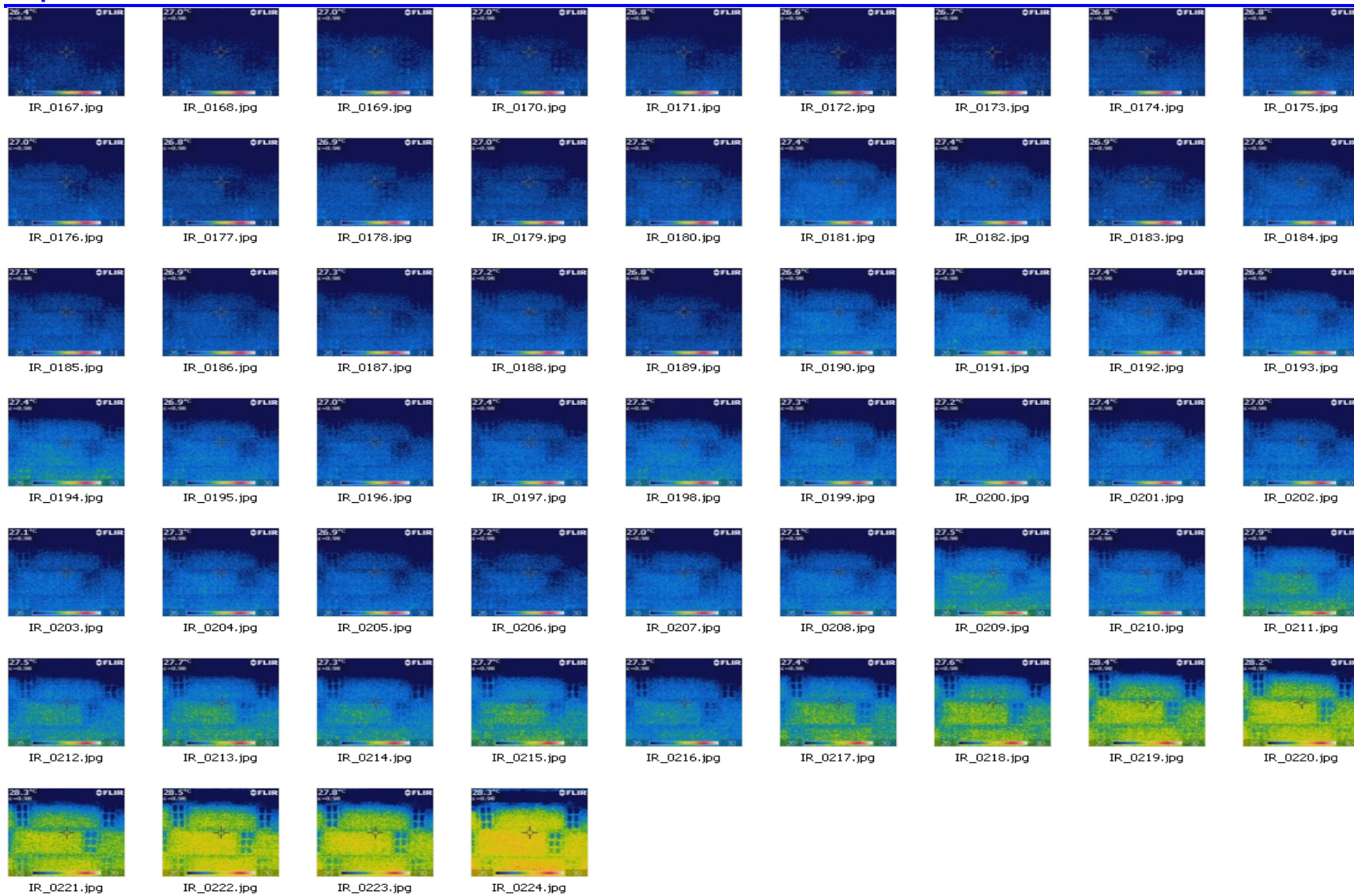


Figura 4.16 Representación de los saltos de temperatura entre escalones frente a la presión aplicada en los gatos

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Resultados similares se obtuvieron para el muro no confinado. A pesar de que se procuró aplicar la carga de una forma más continua, minimizando los escalones de tiempo.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Figura 4.17. Secuencia de las termografías tomadas durante el ensayo a rotura del muro no confinado

E2.20 - Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

La imagen muestra todas las imágenes térmicas tomadas durante el ensayo. Las veintitrés primeras corresponden al rango de medida entre 26 y 40°C; el resto son del rango 26 á 35°C. Se aprecia un progresivo cambio de tonalidad de azul a verde que se corresponde con el incremento de la temperatura ambiental durante la ejecución del ensayo

Si se representa de nuevo la variación de temperatura ambiente, del muro y de referencia, se aprecia la misma relación directa entre la temperatura ambiente y la reflejada por el muro.

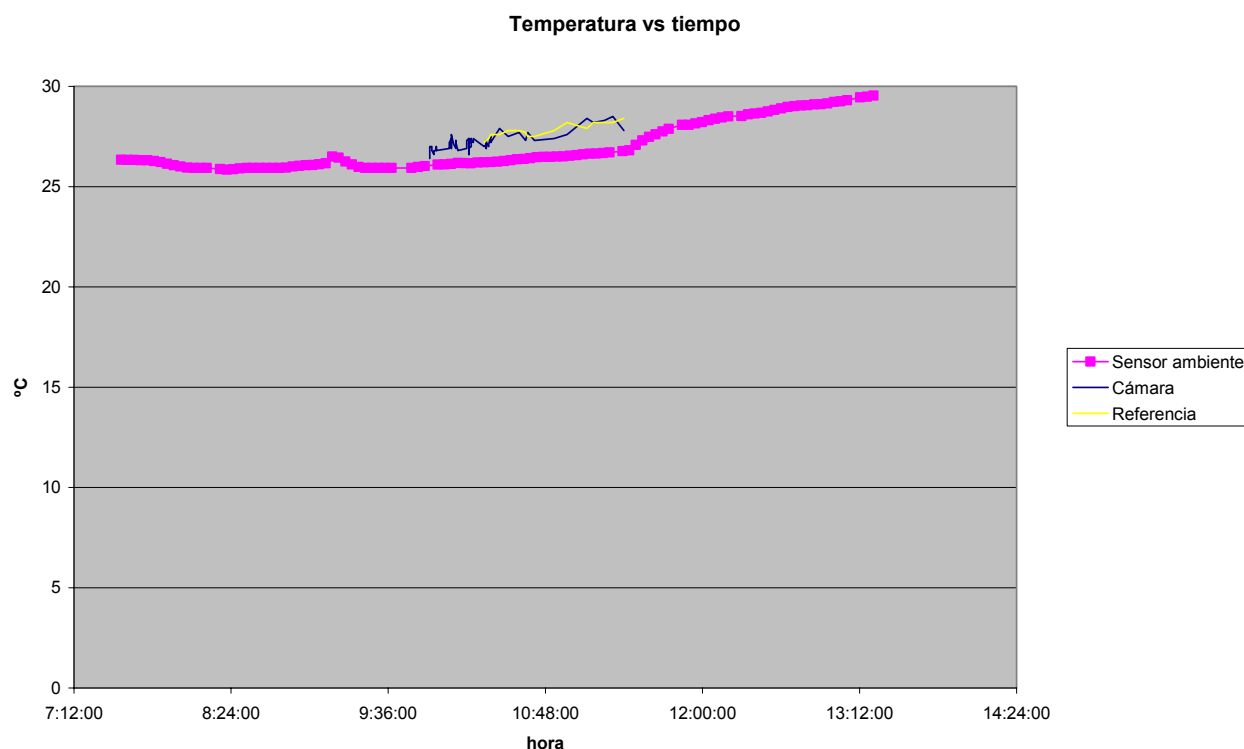


Figura 4.18. Variación de la temperatura ambiente, referencia y muro durante el ensayo.

Para determinar si se han producido cambios en la temperatura del muro al aplicar las cargas, se ha obtenido de la grabación de video un valor de referencia; este valor se corresponde con la temperatura instantánea que se registra en el momento que el reloj cambia de un minuto al siguiente.

Por un error técnico durante la grabación del video, solo hay datos de temperatura de referencia a partir de las 10:20 horas

Representando los saltos de temperatura frente a la presión y al diferencial de presión se observa que no existe correlación entre las variables, es decir, todos los saltos de temperatura se pueden producir a cualquier carga o salto de carga.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

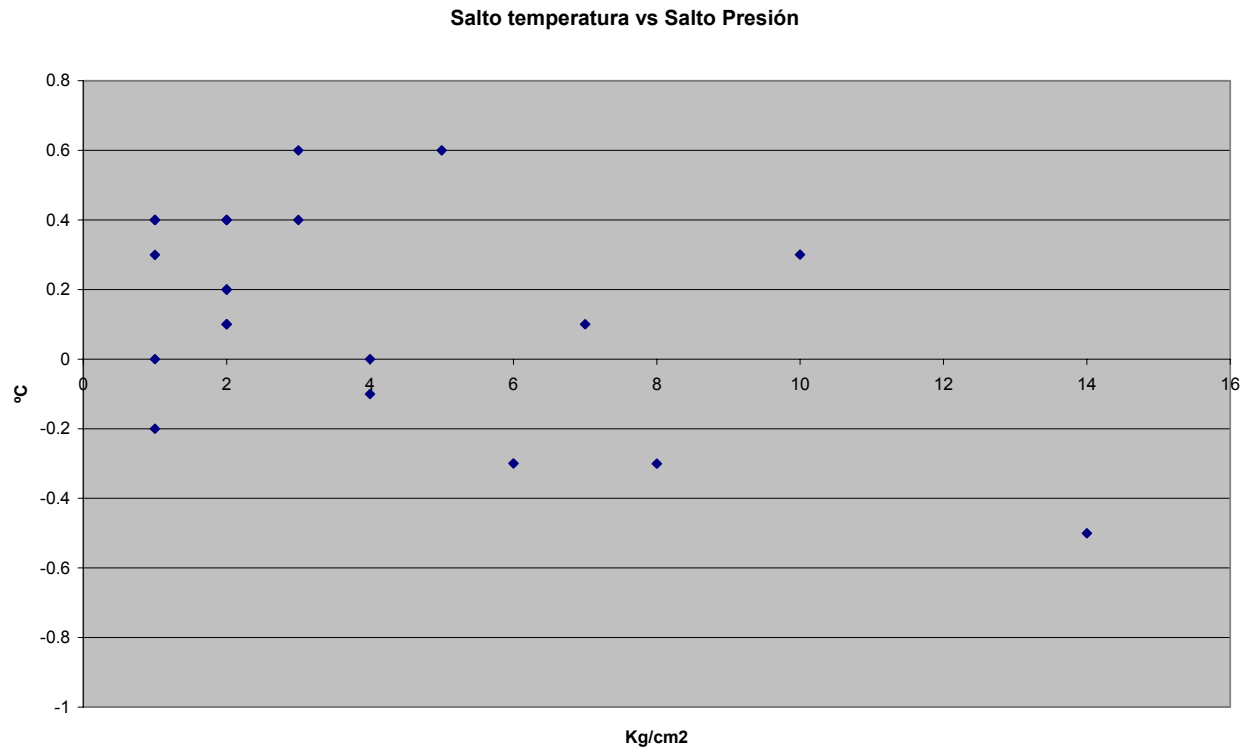


Figura 4.19. Representación de los saltos de temperatura entre escalones frente a los saltos de escalones de presión.

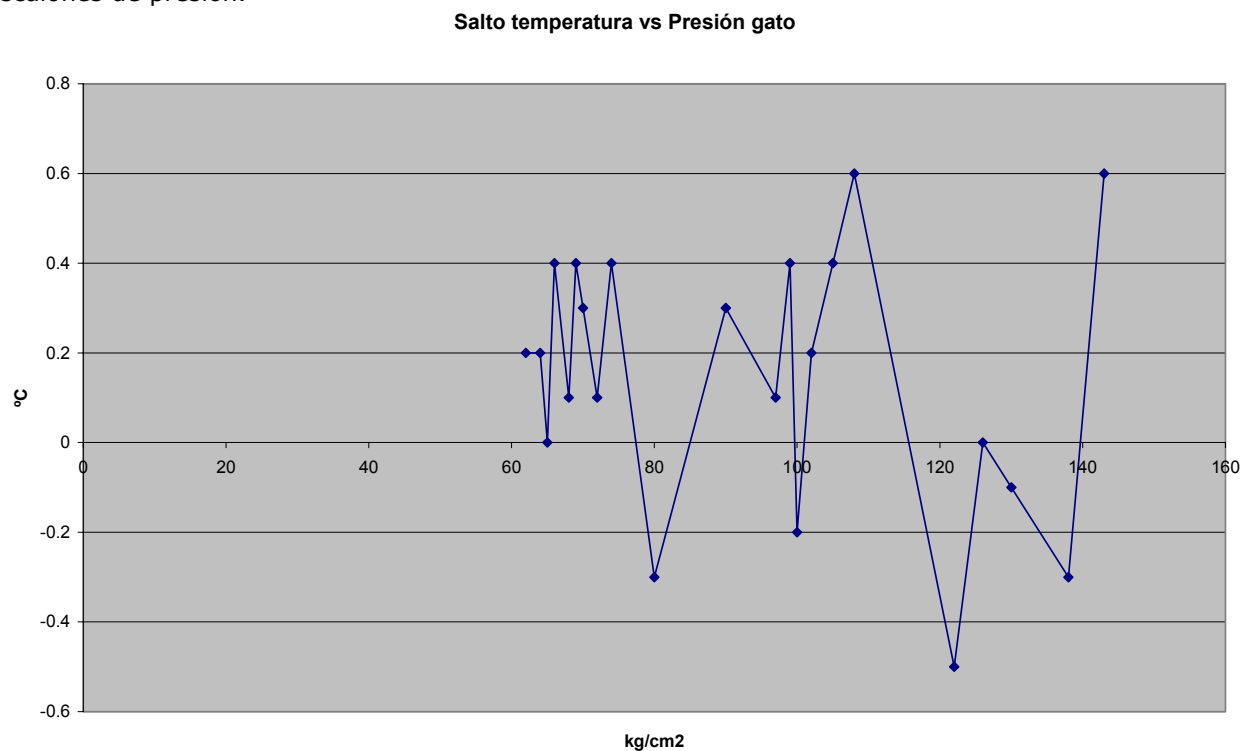


Figura 4.20 Variación de los saltos de temperatura frente a la presión aplicada en los gatos.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

Además, si se representa las curvas de tensión-deformación (Figura 4.21) se observa que las tensiones de rotura son similares en ambos casos. El muro confinado tiene un módulo de elasticidad mayor, como era de esperar. Por este motivo, el sonido de las fisuras se hizo notar antes en el muro no confinado y por esta adecuación de las piezas internas existen estas mesetas entre escalones, ya que han coincidido en momentos que se ha producido una fisura o spalling. Además, este incremento de desplazamiento para iguales escalones de carga hacía la lectura del extensómetro digital más inestable.

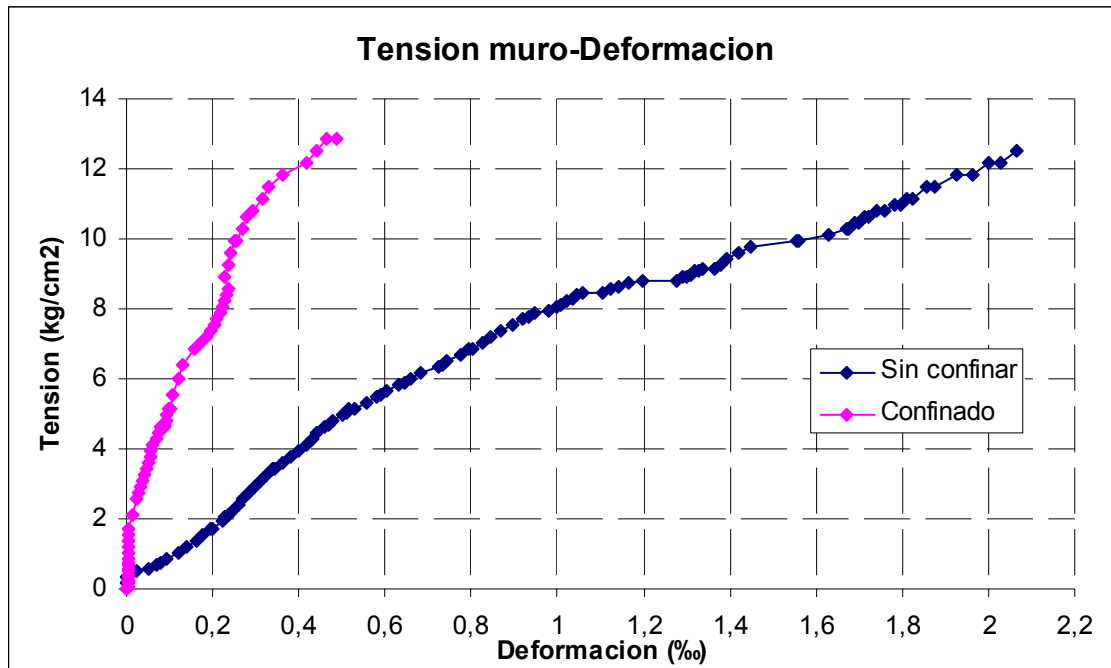


Figura 4.21. Curvas carga-deformación para las dos configuraciones de muro de ladrillo hueco.

Otro aspecto interesante es que en este segundo muro las fisuras se producían siguiendo las líneas de presión como se puede apreciar en la Figura 4.22, llegando a acumular una cantidad de tensión tal que hizo que rompiera por la esquina de la base, como se aprecia en la misma foto.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



Figura 4.22. Rotura por compresión de muro.

4.3. Muros de ladrillo macizo.

En este caso, al ser un material macizo, sin ausencia de huecos, aparentemente, se ha aplicado la técnica del georadar, para detectar posibles anomalías durante su ejecución, una variación de humedad que pudiera generar deterioros, etc. El fundamento técnico en el que se basa ya se ha explicado en el apartado 3.1.2.

Las medidas han sido efectuadas siguiendo tres líneas paralelas a cada lado del muro, establecidas a las siguientes distancias con respecto a la cara superior del muro (Figura 4.23):

- Perfil nº 1: 15 cm.
- Perfil nº 2: 50 cm.
- Perfil nº 3: 80 cm.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico



Figura 4.23. Toma de datos con el georradar (antena de 800 MHz)

Los parámetros de adquisición de datos que se han utilizado en los distintos perfiles realizados han sido:

- Frecuencia de muestreo: 11.042 MHz.
- Ventana de tiempos: 29 ns.
- Número de muestras: 316
- Intervalo entre trazas: 4 mm.

Dado que el georradar mide exclusivamente el tiempo de propagación entre la señal emitida y la reflejada, resulta de interés efectuar una calibración previa que permita correlacionar adecuadamente el tiempo y la distancia recorrida por la onda para el material en cuestión.

Para ello, y dado que en esta ocasión el paramento posterior al explorado resultaba plenamente accesible, se ha colocado sobre su superficie posterior una chapa metálica cuya presencia forzara una clara reflexión de la señal emitida.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

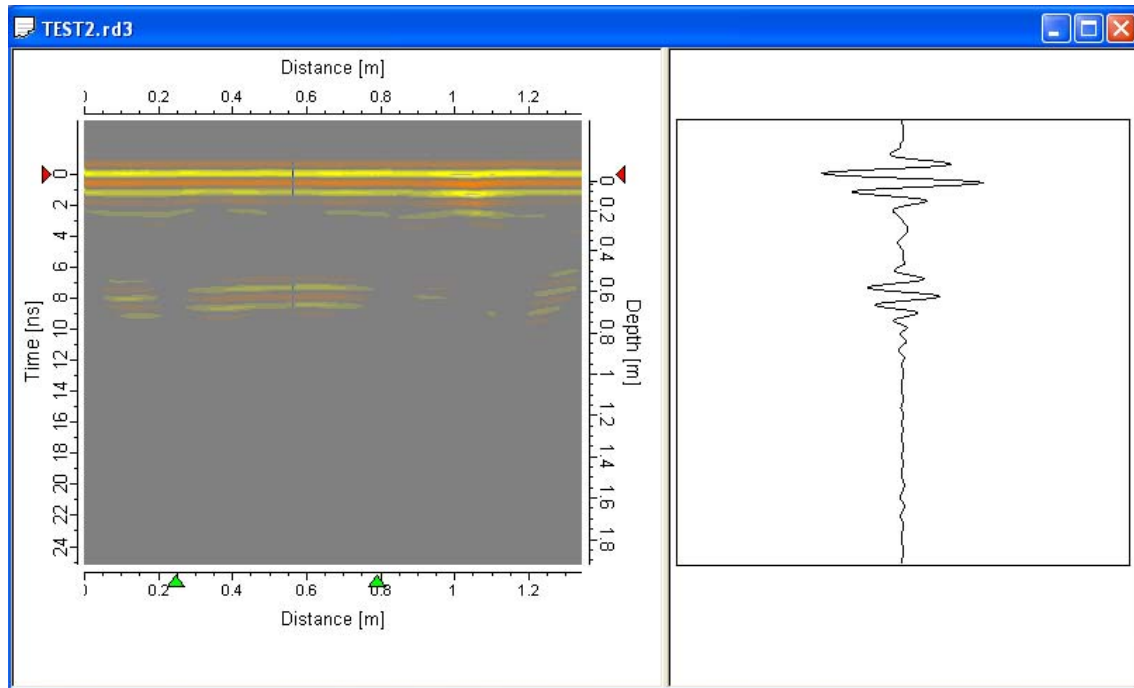


Figura 4.24.- Radargrama con superficie metálica posterior

En el radargrama así obtenido (Figura 4.24) se han representado en el eje lateral izquierdo los tiempos de propagación, en nanosegundos, mientras que en el derecho se representan las profundidades (espesores, en este caso) equivalentes. Como dato a validar, se ha considerado, inicialmente, una velocidad media teórica de propagación de la onda en el ladrillo de 150 m/μs.

Los ejes superiores e inferiores corresponden a la distancia recorrida por la antena, habiéndose marcado en el inferior, durante la medida, sendas marcas verdes en los puntos de inicio y fin de la chapa de reflexión (a 25 y 80 cm del origen, respectivamente).

En la ventana de la derecha se muestra la traza de la señal reflejada, a una distancia entre 55 y 60 cm del origen, en la que se aprecian dos clara reflexiones. Una primera, mayor, correspondiente a la entrada de la señal en el muro (interfaz aire-muro) y una segunda, algo menor, correspondiente a su salida (interfaz muro-chapa metálica).

Una vez establecido el cero de profundidades en la muestra en la que se produce el primer pico de la primera reflexión (entrada), se observa que la segunda reflexión, correspondiente a la chapa metálica, se encuentra a 54 cm de profundidad, lo que coincide sensiblemente con el espesor real del muro en dicha zona (53 cm).

Por tanto, se ha aceptado como válida una velocidad de propagación de la onda en el ladrillo de 150 m/μs.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

4.3.1. Perfiles obtenidos.

Una vez ajustada correctamente la escala espacial, se ha procedido a realizar distintas medidas, siguiendo con la antena los perfiles horizontales previamente establecidos a ambos lados del muro.

A continuación se muestran los radargramas obtenidos, antes de su post-procesado. En todos ellos se aprecia un considerable efecto local “de borde” tanto al inicio como al final de la traza, que se va atenuando a medida que nos aproximamos al centro del muro.

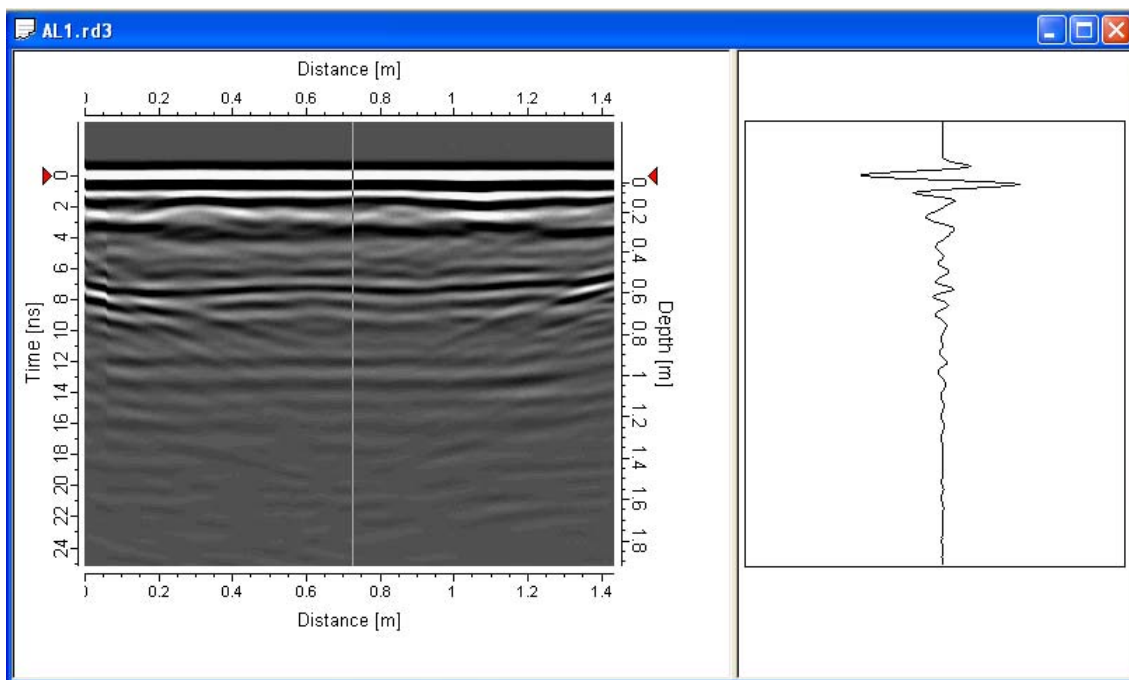


Figura 4.25. Cara anterior. Perfil nº 1

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

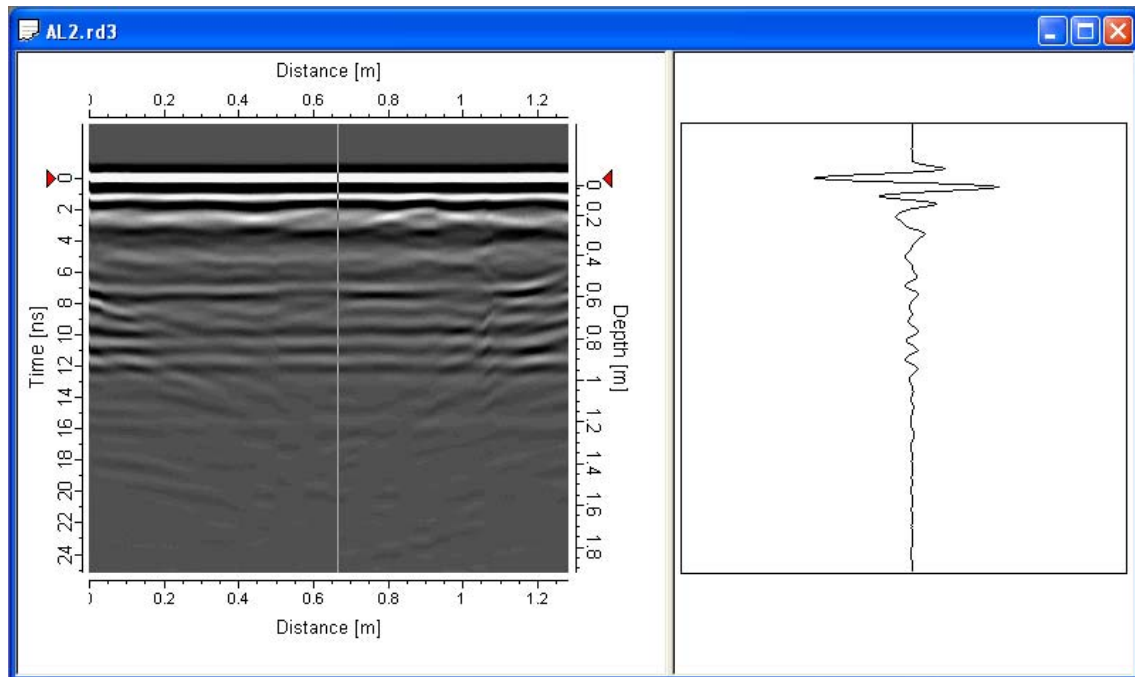


Figura 4.26. Cara anterior.- perfil nº 2

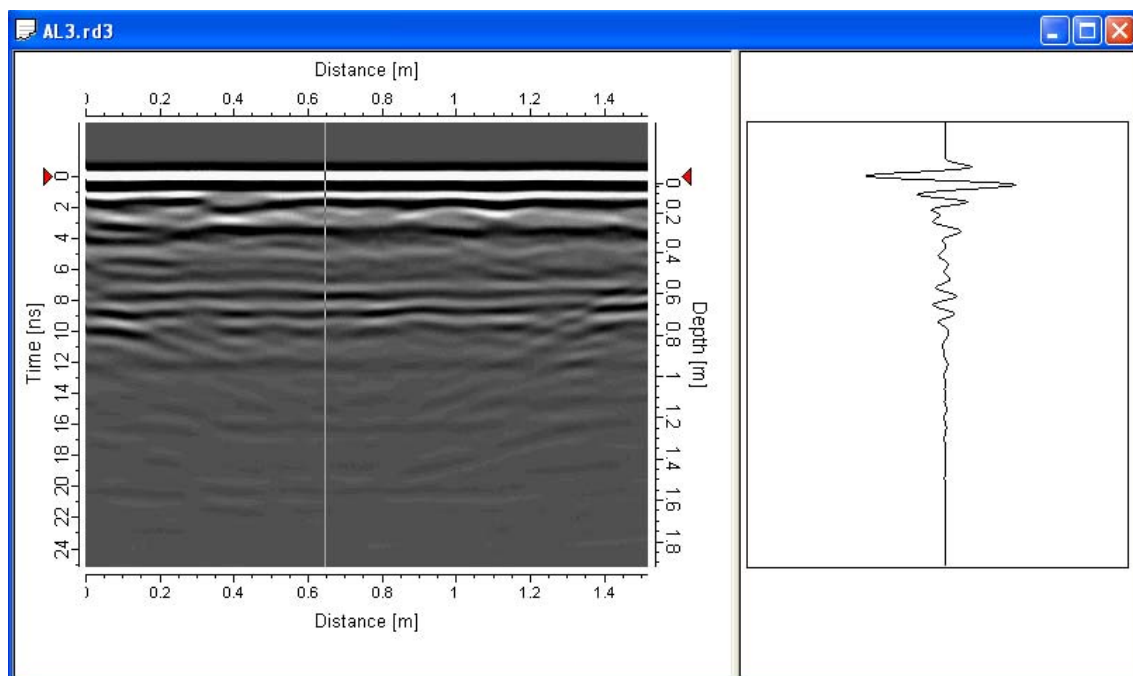


Figura 4.27. Cara anterior.- perfil nº 3

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

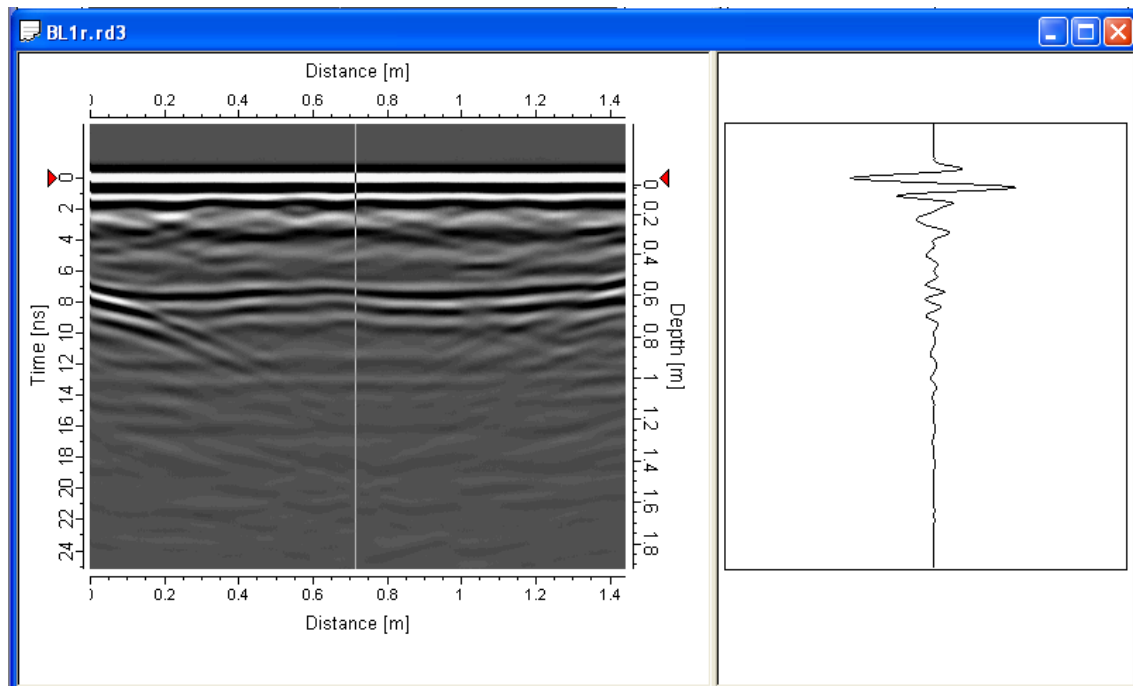


Figura 4.28. Cara posterior perfil nº 1

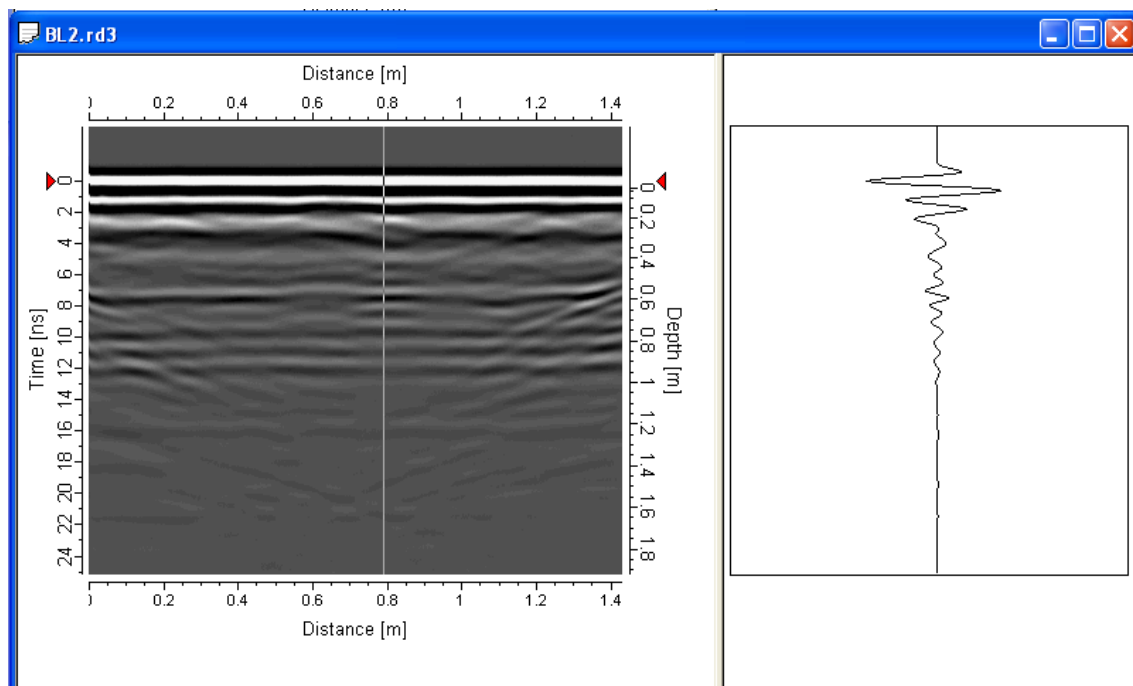


Figura 4.29. Cara posterior. – perfil nº 2

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

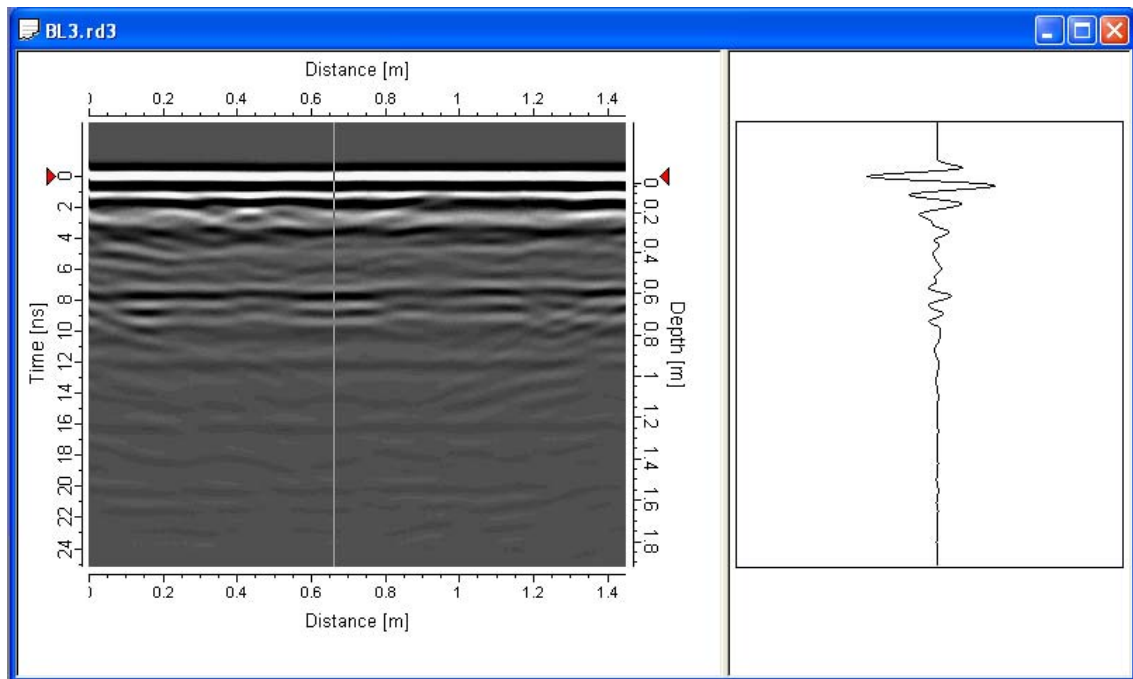


Figura 4.30. Cara posterior – perfil nº 3

La aplicación de filtros sobre las señales adquiridas resulta, en muchos casos, fundamental para localizar e identificar ciertos elementos a primera vista ocultos.

El hecho de que la señal se vaya atenuando y perdiendo energía a medida que se propaga en el medio, obliga, en ciertos casos, a compensar adecuadamente su amplitud con la profundidad.

En esta ocasión, y tras probar varias tentativas con filtros de distinto tipo, finalmente sólo se han aplicado los habituales filtros de supresión de DC y paso banda (entre 400 y 1200 MHz).

Por otra parte, y a fin de realzar las amplitudes extremas de las reflexiones producidas, se ha reajustado la paleta de colores por defecto en tonos de grises.

A continuación se presentan los radargramas obtenidos en los seis perfiles realizados (Figura 4.31 a Figura 4.37). Comparándolos entre sí, no se aprecian en ellos reflexiones o diferencias significativas que pudieran apuntar a la existencia de oquedades o heterogeneidades en el interior del muro. En caso de existir, éstas serían de escasa entidad y podrían estar localizadas entre dos de los perfiles realizados, o podrían presentar un contraste dieléctrico con el ladrillo insuficiente para ser apreciado.

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

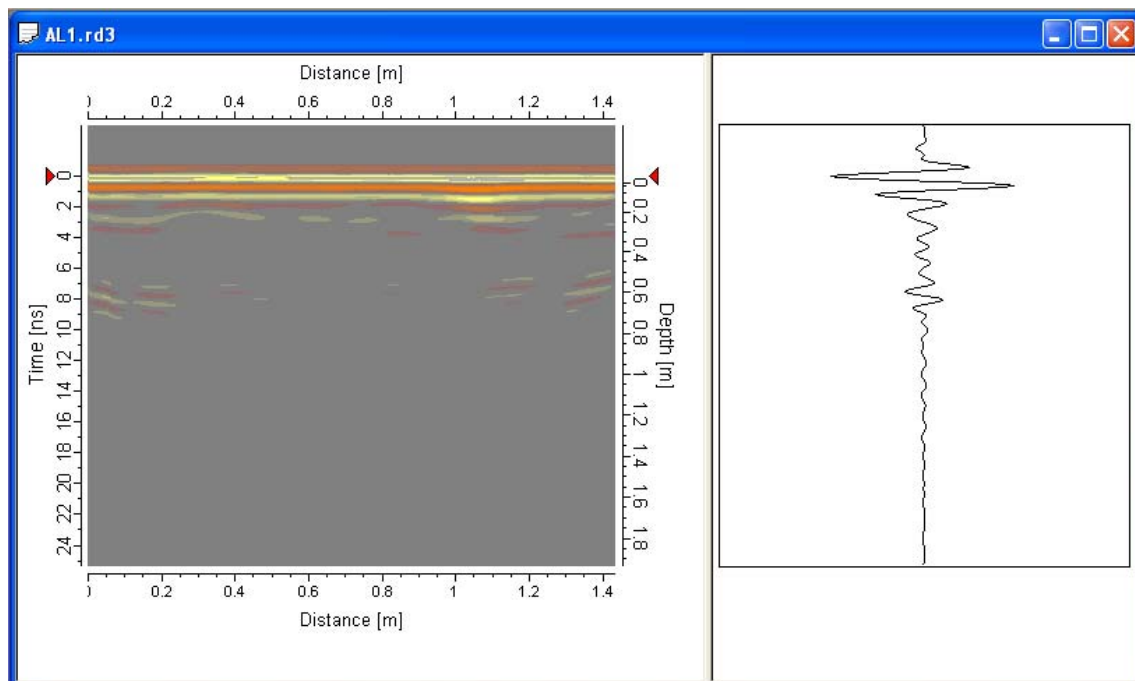


Figura 4.32. Cara anterior – perfil nº 1

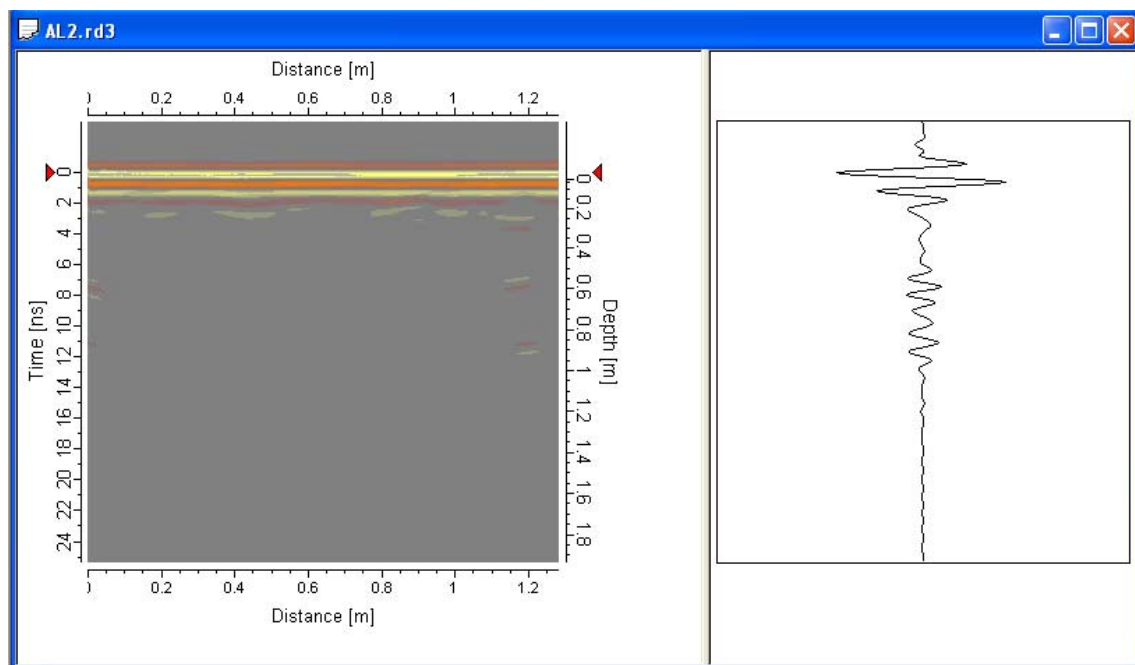


Figura 4.33. Cara anterior perfil nº 2

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

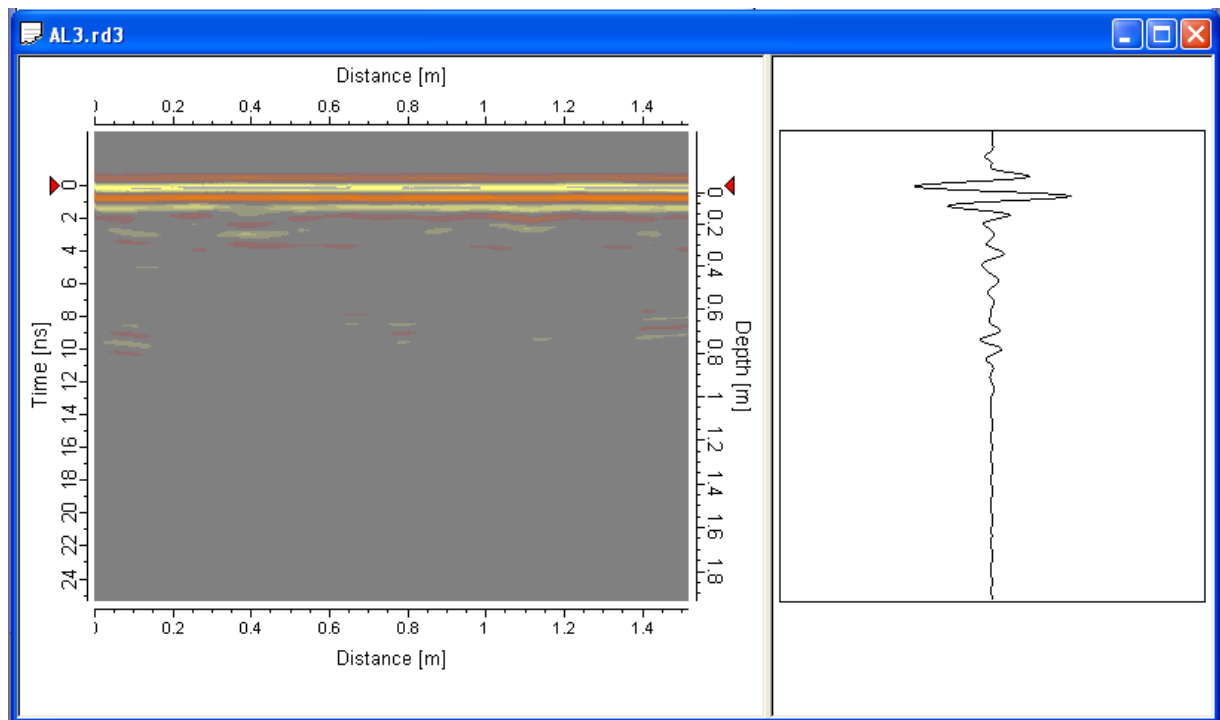


Figura 4.34. Cara anterior – perfil nº 3

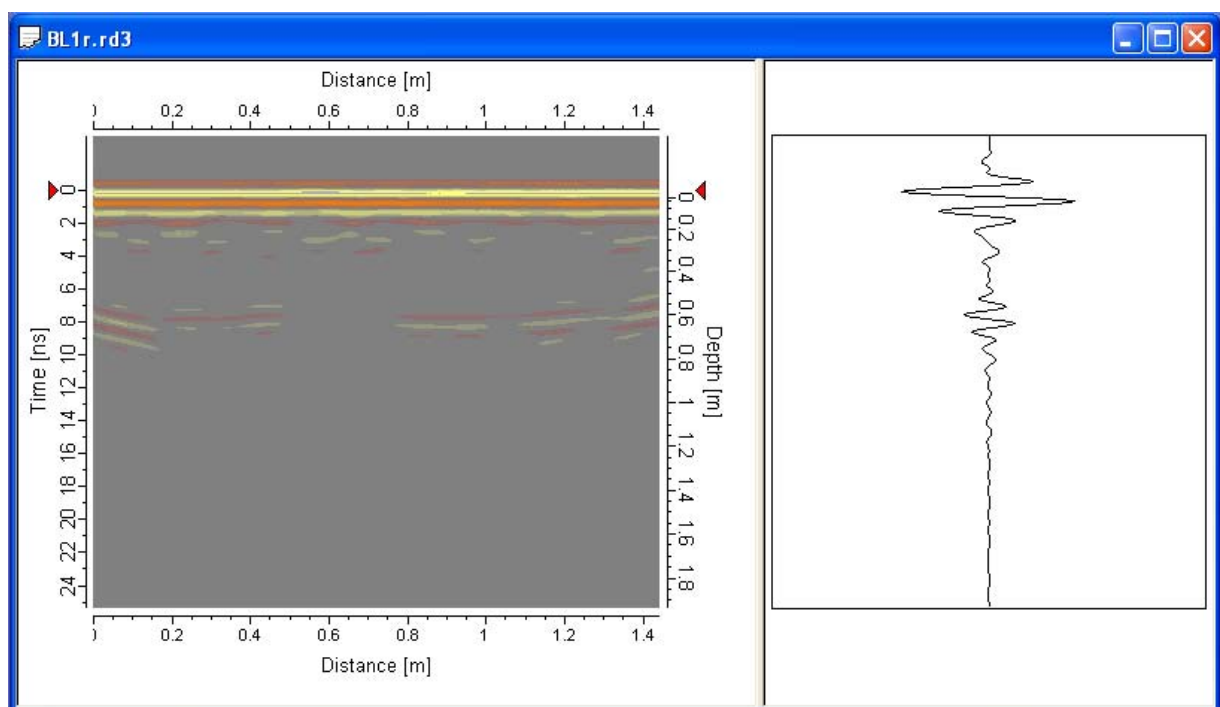


Figura 4.35. Cara posterior – perfil nº 1

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

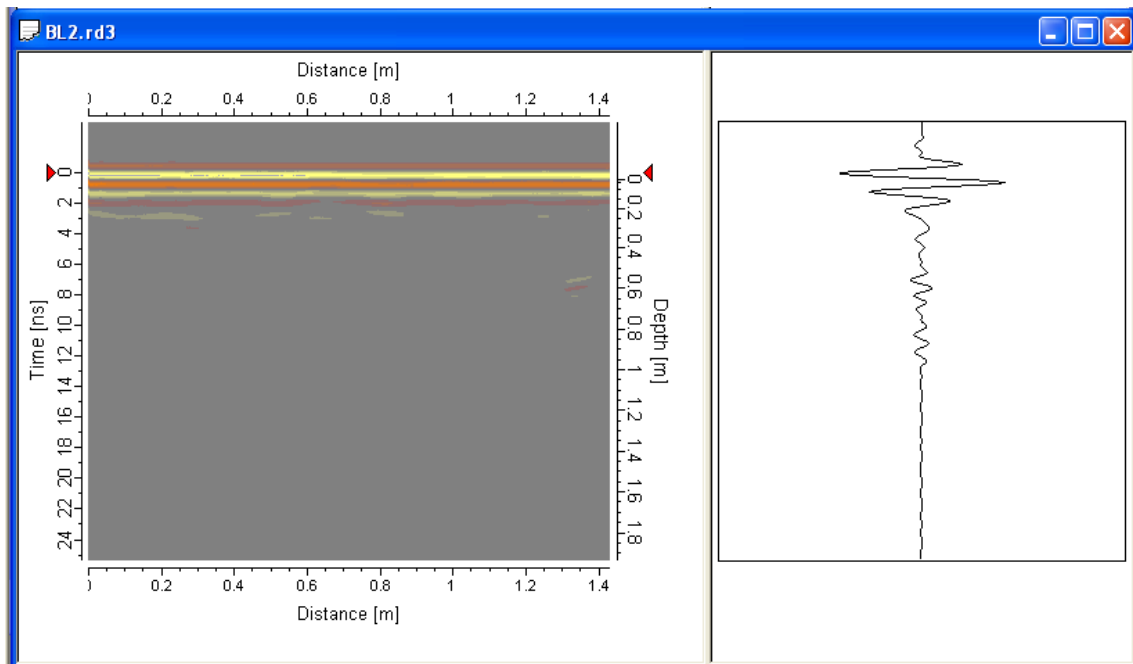


Figura 4.36. Cara posterior – perfil nº 2

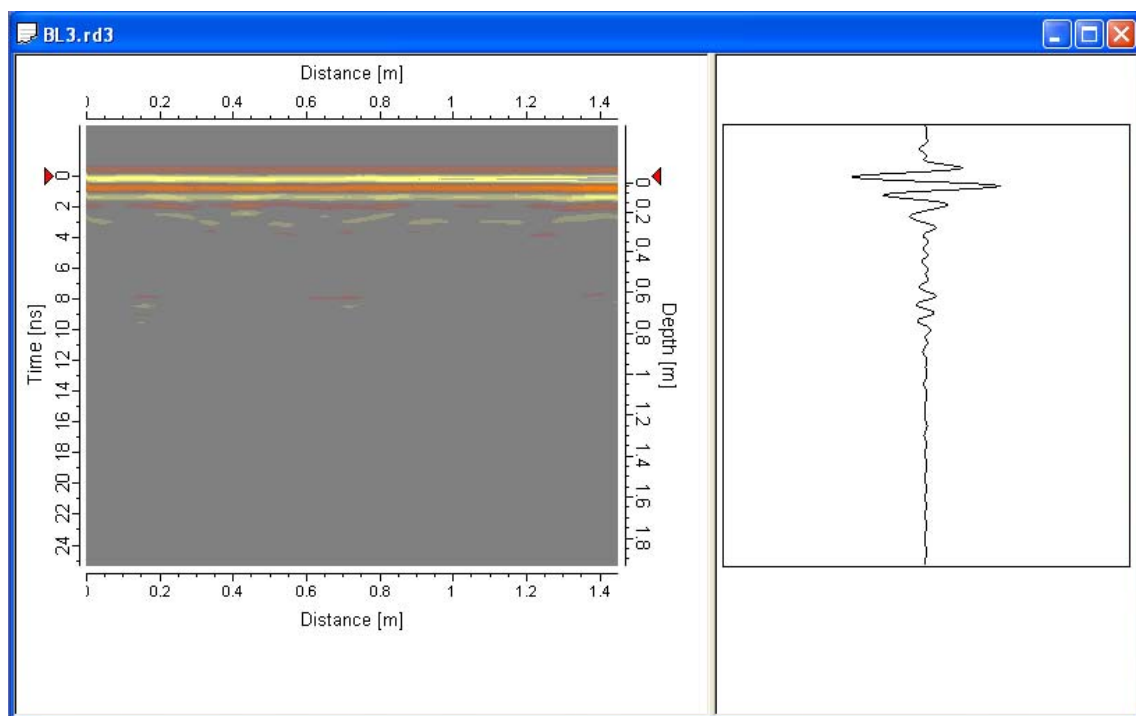


Figura 4.37. Cara posterior – perfil nº 3

E2.20 Descripción técnica de sistemas de corte y control de vibraciones aplicados a intervenciones en el patrimonio arquitectónico

5. CONCLUSIONES

En la mayoría de las intervenciones de accesibilidad que se realizan en Patrimonio representan modificaciones estructurales de los bienes. Éstos deben ser estudiados estructuralmente para verificar su adecuación a la nueva situación. Esta investigación se puede realizar con ensayos no destructivos o ensayos ligeramente destructivos que proporcionen la información necesaria para la adopción de la solución de accesibilidad más apropiada. Además, en este tipo de intervenciones se realizan operaciones que podrían modificar las propiedades mecánicas de los elementos afectados, tales como un aumento excesivo de la temperatura, vibraciones, etc. Por este motivo, se decidió estudiar el efecto de estas intervenciones en varias tipologías de muro de mampostería.

Este documento ha presentado el trabajo experimental realizado hasta el momento en los muros de mampostería. Éste ha consistido en la selección de los acelerómetros mediante pruebas pre-testing en bloque de fábrica con máquina rotativa, en probetas de hormigón y en un bloque de muro. Estos tests han verificado la adquisición de históricos/datos significativos para su análisis. Los registros se han demostrado ausentes de ruido eléctrico proveniente de la toma de corriente y su interpretación recomienda el uso de acelerómetros del tipo PCB.

Igualmente, se ha investigado la posibilidad de tomar imágenes termográficas durante los ensayos de corte y cosido. En los ensayos previos, los resultados han indicado su posible utilidad a falta de verificación en ensayos reales, tanto de rotura como de corte y cosido. En el primer tipo han resultado ser no concluyentes debido a varias causas. Entre ellas estaría la combinación de aplicación de la carga en escalones pequeños junto con el tiempo de estabilización de las lecturas, en ese periodo los materiales se acomodarían dando lugar a pequeñas disipaciones de energía térmica. Éstas serían incapaces de ser detectadas por la cámara si son inferiores a 0.6 °C, ya que es el valor de su precisión. Incluso, en la entrada en carga del muro de ladrillo macizo, no se ha detectado variación de temperatura en ningún momento.

Para poder comparar los resultados de los ensayos, se han ensayado a rotura dos muros de ladrillo hueco, confinado y sin confinar, para poder tener unos valores de referencia. Como era de esperar, la tensión de rotura ha sido similar, sin embargo, el muro confinado se ha mostrado más rígido. Una elasticidad mayor causa mayor número de fisuras en este tipo de materiales, por tanto, el muro no confinado presentó mayor número de ellas. Además, este hecho significó que las lecturas con el extensómetro digital fueran más inestables e implicaran una necesidad mayor de tiempo de estabilización que el muro confinado. Y por tanto, un factor a tener en cuenta durante los ensayos de corte y cosido.

Estas pruebas, además, han servido para la calibración de la instrumentación alámbrica e inalámbrica que se utilizará en posteriores ensayos, y validación del empleo de la cámara termográfica.